

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія

Енерготехнічний факультет
Кафедра автоматики та електроустаткування

Рекомендовано до захисту
Завідувач кафедри автоматики та
електроустаткування
_____ Михаліченко П.Є.
(підпис) (прізвище ініціали)
«___» _____ 20__ року

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка системи керування електропривода суднового
компресора пускового повітря»

Здобувач б курсу, групи б367зм
за спеціальністю: 141 «Електроенергетика
Електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо-професійна програма:
«Експлуатація суднових автоматизованих
(назва)
систем»

Юрашев А.П. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Білюк І.С. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Гаврилов С.О. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

м. Херсон - 2020 року

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонська філія

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий, (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр)

Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка, та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Експлуатація суднових автоматизованих

(назва)

систем»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики
та електроустаткування

Михаліченко П.Є.

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Юрашев Андрій Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря

Керівник роботи: Білюк І.С., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20__ року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: були отримані в ході проходження науково-педагогічної практики та експлуатаційної, переддипломної практик

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) Характеристика суднових компресорів; 2) Виклад загальних підходів і основних методів дослідження; 3) Розрахункова частина, аналіз динаміки системи; 4) Аналіз питань по запобіганню забруднення з суден за конвенцією MARPOL-73/78.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація в електронному вигляді

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика суднових компресорів		
2	Виклад загальних підходів і основних методів дослідження		
3	Розрахункова частина, аналіз динаміки системи		
4	Аналіз питань по запобіганню забруднення з суден за конвенцією MARPOL-73/78		

Здобувач

(підпис)Юрашев А.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єм пояснювальної записки становить 92 аркуші, вона містить 4 розділи, 28 рисунків, 9 таблиць, 20 найменувань в списку використаної літератури. Мультимедійна презентація представлена на 12 слайдах.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

В роботі розроблено систему керування електропривода суднового компресора КВД-М пускового повітря. Враховуючи рекомендації до систем керування електроприводів турбомеханізмів, до яких відноситься судновий компресор КВД-М пускового повітря обрано скалярну систему частотного керування, проаналізовано її функціональну та структурну схеми. В якості основного електрообладнання електропривода суднового компресора пускового повітря використано новий асинхронний двигун 5A112M4 потужністю 5,5 кВт з частотою обертів 1430 об/хв та перетворювач частоти AE-V81G-7R5T4B потужністю 7,5 кВт.

В роботі розраховано налаштувань регуляторів розробленої системи, побудовано графіки перехідних процесів за швидкістю. Отримано наступні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,4 с.

Проаналізовано питання по запобіганню забруднення з суден за конвенцією MARPOL-73/78.

Ключові слова: система керування, електропривод, судновий компресор пускового повітря, динаміка системи, перехідні процеси, показники якості керування.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ КОМПРЕСОРІВ	8
1.1 Загальні відомості, призначення та класифікація суднових компресорів ..	8
1.2 Існуюча система керування автоматизованого електропривода компресора пускового повітря	12
1.3 Опис електромеханічної частини компресора	14
1.4 Технічні характеристики компресорів типу КВД	22
2 ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Класифікація та термінологія наукових досліджень, структурно-логічна схема дослідження	25
2.2 Обґрунтування необхідності підтримки постійності швидкості обертання ротора суднового компресора пускового повітря	29
2.3 Метод скалярного керування електропривода суднового компресора пускового повітря	32
2.4 Розімкнуті системи скалярного керування електроприводами суднових компресорів пускового повітря	33
2.5 Замкнуті системи скалярного керування електроприводами суднових компресорів пускового повітря	36
3 РОЗРАХУНОВА ЧАСТИНА, АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ	44
3.1 Вибір приводного електродвигуна суднового компресора пускового повітря	48
3.2 Вибір перетворювача частоти	59
3.3 Вибір гальмівного резистора	52
3.4 Вибір автоматичного вимикача, контактора, мережного дроселя та рекомендованого перерізу проводів	53
3.5 Вибір пульта керування перетворювача частоти	57

3.6 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря	60
3.7 Побудова перехідних процесів за швидкістю	65
4 АНАЛІЗ ПИТАНЬ ПО ЗАПОБІГАННЮ ЗАБРУДНЕННЯ З СУДЕН ЗА КОНВЕНЦІЄЮ MARPOL-73/78	70
4.1 Загальний набір правил міжнародної конвенції MARPOL-73/78	70
4.2 Обмеження забруднень при експлуатації суден	80
4.3 Збереження нафти на борту судна	83
4.4 Система автоматичного заміру, реєстрації і керування скиданням нафти і обладнання для фільтрації нафти	88
ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА	91

ВСТУП

Розробка систем керування електроприводами суднових компресорів для конкретного застосування є важливою тенденцією на ринку, яка, як очікується, продовжиться в середньостроковій та довгостроковій перспективах. Ще одним важливим напрямом, який значно розвивається, є автоматизація. Суднові компресори широко застосовуються в різних системах на судні та в суднобудівній галузі промисловості в цілому.

Значна кількість електроприводів суднових компресорів є неавтоматизованими, а тому не можуть забезпечити потрібні показники якості керування. Крім, того в неавтоматизованих електроприводах наявні перевитрати електроенергії.

Важливою перевагою суднових компресорів з приводним асинхронним двигуном є можливість використання часто-регульованого електропривода. Використанням частотно-регульованого електропривода дозволяє забезпечити потрібні показники якості керування та зменшує споживання електроенергії на 10-30 %.

Використання суднових компресорів з частотно-регульованим електроприводом особливо ефективно в суднових пристроях і системах, де використання стисненого повітря у різний час може суттєво змінюватися. Для оптимізації роботи кількох суднових компресорів інколи серед них достатньо мати один із частотно-регульованим електроприводом. Електропривод суднового компресора з перетворювачем частоти згладжує нерівність у споживання повітряного потоку та підтримує стабільне подання в суднових магістралях, а також за необхідністю вмикає або вимикає компресор з постійною частотою.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести огляд і аналіз літератури з питань дослідження. Проаналізувати основні характеристики суднових компресорів, їх призначення та класифікацію.
2. Розробити систему керування електропривода суднового компресора пускового повітря, проаналізувати її функціональну та структурну схеми.
3. Виконати синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів розробленої системи, встановити показники якості керування електропривода суднового компресора пускового повітря.
4. Проаналізувати питання по запобіганню забруднення з суден за конвенцією MARPOL-73/78.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ КОМПРЕСОРІВ

1.1 Загальні відомості, призначення, класифікація суднових компресорів

Компресорами називають механізми, призначені для стиснення повітря і інших газів, вони створюють повний тиск понад 1500 мм в. ст [1, 2].

Суднові повітряні компресори необхідні для забезпечення споживачів суднових енергетичних установок (СЕУ) і в цілому судна стисненим повітрям різного тиску і витрат [3-5].

Найбільш поширені на судах поршневі одноступінчасті і багатоступінчасті компресори, які використовують для одержання стисненого повітря, для пуску дизелів (тиском 30 Бар), і низького тиску для забезпечення роботи пневматичних систем керування (тиск до 10 Бар), а також для стиснення пари холодоагентів в рефрижераторних установках.

Суднові компресори класифікують за принципом дії, ступенем підвищення тиску, призначенням, конструктивними ознаками, типом приводного механізму.

За принципом дії суднові компресори ділять на об'ємні і лопаткові.

Об'ємними називають компресори, підвищення газу в яких здійснюється за рахунок зменшення обсягу замкнутого простору, заповненого газом. Газ в об'ємних компресорах стискається поршнем і в стислому стані надходить до споживача.

Лопатковими називають компресори, підвищення тиску газу в яких здійснюється за рахунок використання сил інерції потоку газу, приведенного в рух обертовим лопатковим пристроєм (ротором). Механічна енергія ротора лопаткового компресора перетворюється частково безпосередньо в потенційну енергію газу (тиск), а частково – в кінематичну. Кінетична

енергія також переходить в потенційну при гальмуванні потоку газу за компресором.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд суднового компресора

Основні споживачі стисненого повітря від суднових компресорів наступні:

- пускове повітря для головних двигунів (ГД) і дизель-генераторів (ДГ) (2,5-3,0 МПа), аварійного дизель-генератора (7,0 МПа);
- система дистанційного автоматизованого керування (ДАК) головного двигуна;
- система автоматичного керування і контролю;
- пневмомуфти підключення спеціальних пристроїв до редуктора;
- ГРК (керування завданням гвинтів з регульованим кроком);
- мастильні фільтри ГД (продування без розбирання на ходу судна);
- продування кінгстонів;
- відключення паливного насоса високого тиску (ПНВТ) ГД на ходу (будь-якого циліндра);
- випускні клапани ГД;
- зарядка аквалангів (15,0-20,0 МПа);
- пускові балони парогенераторів протипожежної системи;
- господарські потреби (пневмоінструмент та інше);

Суднові компресори можна класифікувати за такими ознаками:

1. Конструктивні особливості і характеристики:

- поршневі, відцентрові, гвинтові, осьові;
- приводи від електродвигуна, дизельного двигуна, від головного двигуна;

З'єднання з приводом муфтове або техстропами;

- за тиском: 0,8-1,2 МПа, до 3,5 МПа, до 6,5-7,5 МПа і вище;
- за оборотами приводного двигуна: від 585 до 1750 хв-1;
- за ступенем стиснення: 1-но ступінчасті, 2-х ступінчасті і 3-х ступінчасті.

У свою чергу, 2-х ступінчасті поршневі електрокомпресори бувають односторонньої і двосторонньої дії:

- за кількістю циліндрів на ступень: один циліндр з одним поршнем і одним повітроохолоджувачем; один циліндр з поршнем 2-х і 3-х діаметрів, а також з двома і трьома повітроохолоджувачами; два циліндра окремо, один першого ступеня і один другого ступеня;

- за видом охолодження циліндрів, кришок і повітроохолоджувачів: водою забортної, прісної від загальної системи охолодження СЕУ, повітрям від вентилятора, що приводиться від валу компресора;

- за продуктивністю ($\text{м}^3/\text{год}$) одного циліндра (або однієї пари циліндрів, якщо 1-а і 2-а ступінь в двох циліндрах) в залежності від оборотів приводного двигуна, розмірів циліндра і кінцевого тиску: до 0,8 МПа - $20 \div 480$ (м^3), до 3,0 МПа - 440 (м^3), до 6,0 МПа - 130 (м^3) вільного повітря; продуктивність 3-х ступеневого компресора головного двигуна з компресорним розпилом – близько 250 ($\text{м}^3/\text{год}$) на 1000 к.с. (кінських сил) потужності при кінцевому тиску 6,5 ... 7,0 МПа.

2. За призначенням компресори поділяються:

- відцентрові компресори з приводом від турбіни вихлопних газів ГД для продувки і наддуву ГД;

- осьові компресори для керування антикреновими системами на судах з рампою (апарелю), судах Ро-Ро, багатоцільових судах і судах з великовагової стрілою вантажопідйомністю 150, 280 і більше тон. При такому керуванні антикреновою системою в будь-яких умовах крен практично не помітний на відміну від систем з керування вихровими реверсивними насосами великої потужності (до 14160 л/хв);

- електрокомпресори пускового повітря на судах з гребних гвинтом з фіксованим кроком (ГФК). Вони, як правило, бувають поршневі 2-х ступінчасті до 3,5 МПа (від 3-х до 7-ми циліндрів), з циліндричною подачею 75 м³/год і більше. Зазвичай встановлюють 2 повітрозберігача по 10000 літрів кожен;

- електрокомпресори для роботи системи автоматики. Бувають 2-х і 3-х циліндрові компресори з вихідним тиском 1,2 МПа і більше;

- електрокомпресор аварійний, зазвичай 1-циліндровий. Його електропривод живиться від дизель-генераторів АДГ. На деяких судах дизель-генератори АДГ запускаються не тільки від акумуляторів, але додатково від вибухового заряду або від спеціального невеликого балона пускового повітря з тиском 7,0 МПа. Для зарядки такого балона є спеціальний компресор;

- 4-х ступінчастий V-подібний компресор високого тиску для заправки аквалангів (через керамічний фільтр) тиском до 40,0 МПа.

На судах світового флоту застосовуються повітряні компресори різних фірм. Вони бувають двох-і триступінчаті.

Необхідність застосування багатоступеневих компресорів викликана тим, що ступінь стиснення повітря в одній ступені не повинен перевищувати 8 (тобто повітря в першій, наприклад, ступені можна стискати до тиску 0,8 МПа). Це пояснюється тим, що температура спалаху компресорних

мастил становить 250-280 °С, а при стисненні повітря до 0,8 МПа його температура досягає 170-220 °С. При подальшому підвищенні тиску пари масла можуть samozapalivshisya, що призведе до вибуху і руйнування компресора. Тому в першій ступені двоступеневого компресора повітря зазвичай стискається до 0,5-0,8 МПа, в другій – до кінцевого тиску 2,5-3,0 МПа. При цьому повітря обов'язково охолоджується в спеціальному повітроохолоджувачі після першого ступеня компресора приблизно до первісної температури (для запобігання надмірного підвищення температури повітря після стиснення в другому ступені і зменшення витрат потужності на привід компресора). Після другого ступеня компресора, перед подачею в повітрозберігачі (балони), повітря також охолоджується (за правилами регістру температура повітря, що надходить в балони, не повинна перевищувати 40 °С). Для очищення повітря від мастила і вологи встановлюються вологомастиловідділювачі.

1.2 Існуюча система керування автоматизованого електропривода компресора пускового повітря

Принципова електрична схема існуючої системи керування автоматизованого електропривода компресора пускового повітря показана на рис. 1.2. Розглянемо основні елементи даної схеми. Асинхронний короткозамкнений двигун *Д* запускається в роботу за допомогою магнітного пускача. Станція керування складається з лінійного контактора *Л*, реле часу *1РВ* і *2РВ*, проміжних реле *1РП* і *2РП*; електромагніту клапана продувки системи охолодження компресора *1ЕМ*, електромагніту клапана продувки компресора *2ЕМ*, реле тиску мастила *КРД*, реле температури охолоджуючої води *КРТ*; електроконтактного манометра *ЕКМ*, теплових реле *РТ*, двигуна, сигнальних ламп і перемикача магнітного пускача.

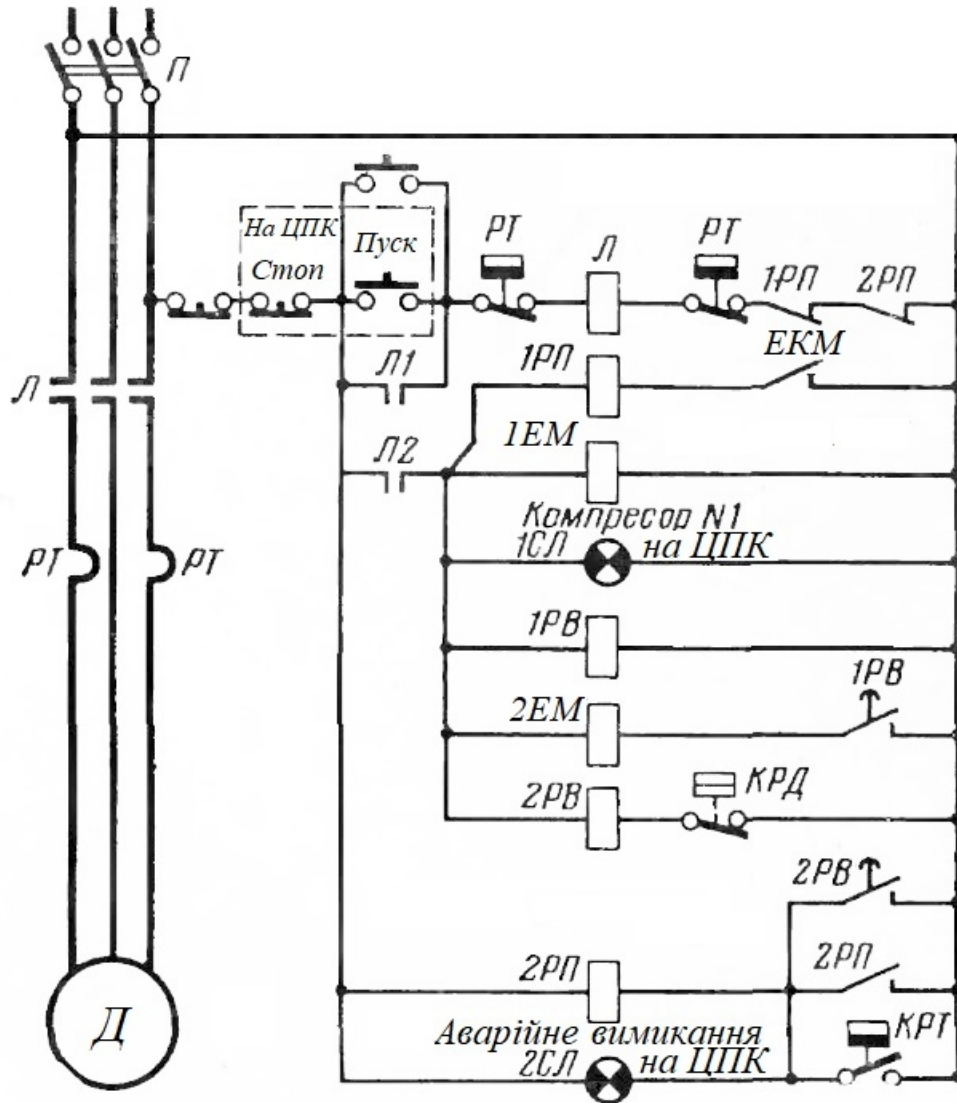


Рисунок 1.2 – Принципова електрична схема керування електропривода суднового компресора

Розглянемо роботу схеми (рис. 1.2). Дистанційне та автоматизоване керування здійснюється за центрального поста керування ЦПК, де встановлені кнопкові пости керування і сигнальні лампи.

При натисканні на ЦПК кнопки «Пуск» подається напруга в оперативні ланцюги керування, вмикається електродвигун компресора і одночасно спрацьовує електромагнітний клапан *1ЕМ*, що відкриває рух води в системі охолодження компресора. При цьому на *ЦПК* вмикається жовта сигнальна лампа «Компресор ввімкнений». Потім з витримкою часу закривається

клапан *2ЕМ* продувки компресора, що приводиться в дію електромагнітом, після чого компресор входить в режим, працює за призначенням і нагнітає повітря в балони.

Після досягнення заданого тиску повітря в балонах електропривод компресора вимикається контактом електроконтактного манометра *ЕКМ*. При цьому припиняється подача охолоджувальної води і відкривається клапан продувки.

Для схеми (рис. 1.2) передбачено захист. У разі падіння тиску мастила закриється контакт *КРД*, отримає живлення реле *2РВ*, яке з витримкою часу закриває свій контакт, подавши напругу на реле *2РП*. Двигун *Д* буде зупинений. У разі перевищення температури охолоджуючої води контакт *КРТ* подає живлення на лампу *2СЛ*, встановлену на *ЦПК*. Двигун захищений також тепловими реле *РТ*. При необхідності компресор може бути зупинений натисканням на кнопку «Стоп», яка розташовується біля компресора і на центральному посту керування. На схемі клапани продувки компресора і охолоджуючої води не показані.

1.3 Опис електромеханічної частини компресора

Конструкція компресора гвинтового типу запатентована в 1934 році. Надійність у роботі, мала металоємність і габаритні розміри визначили їхнє широке поширення [2, 3, 4]. Крім того, використання гвинтових компресорів дозволяє заощаджувати електроенергію до 30%. Гвинтові компресори успішно конкурують із іншими типами об'ємних компресорних машин, практично повністю витиснувши їх у пересувних компресорних станціях, суднових холодильних установках.

Типова конструкція компресора сухого стиску, працює без подачі масла в робочу порожнину. Компресор має два гвинтових ротори. Провідний

ротор з опуклою нарізкою з'єднаний безпосередньо або через зубчасту передачу із двигуном. На веденому роторі нарізка з увігнутими западинами. Ротори розташовані в рознімному корпусі, що має один або кілька рознімань. У корпусі виконані розточення під гвинти, підшипники й ущільнення, а також камери всмоктування й нагнітання. Високі частоти обертання гвинтових компресорів визначають застосування в них опорних і упорних підшипників ковзання.

Між підшипниковими камерами й гвинтовою частиною роторів, у яких стискається газ, розташовані вузли ущільнень, що складаються з набору графітових і бабітових кілець. У камери між групами кілець подається замикаючий газ, що перешкоджає вилученню масла з підшипникових вузлів у стислий газ, а також газу в підшипникові камери.

Торкання гвинтів роторів при відсутності змащення неприпустимо, тому між ними залишають мінімальний зазор, що забезпечує безпечну роботу компресора, а синхронна частота обертання провідних і веденого роторів забезпечується зовнішніми синхронізуючими шестірнями. Гвинтові поверхні роторів і стінок корпусу утворюють робочі камери. При обертанні роторів обсяг камер збільшується, коли виступи роторів віддаляються від западин і відбувається процес усмоктування. Коли обсяг камер досягає максимуму, процес усмоктування закінчується й камери виявляються ізольованими стінками корпусу й кришками від усмоктувальних і нагнітального патрубків.

При подальшому обертанні в западину веденого ротора починає впроваджуватися сполучений виступ провідного ротора. Впровадження починається в переднього торця й поступово поширюється до нагнітального вікна. З деякого моменту часу обидві гвинтові поверхні поєднуються в загальну порожнину, обсяг якої безупинно зменшується завдяки поступальному переміщенню лінії контакту сполучених елементів у напрямку до нагнітального вікна. Подальше обертання роторів приводить до

витиснення газу з порожнини в нагнітальний патрубок. Через те, що частота обертання роторів значна й одночасно існує кілька камер, компресор створює рівномірний потік газу.

Відсутність клапанів і неврівноважених механічних сил забезпечують гвинтовим компресорам високі робочі частоти обертання, тобто дозволяють одержувати більшу продуктивність при порівняно невеликих зовнішніх габаритах.

Мастилозаповнені компресори допускають менші швидкості обертання, чим компресори «сухого стиску». Масло в робочу порожнину гвинтового компресора подається з метою зменшення перетічок через внутрішні зазори, змащення гвинтового зачеплення роторів і охолодження стисливого газу. Є кілька типів гвинтових компресорів: із прямим приводом і ремінним.

Гвинтовий компресор складається з основних деталей, до яких відносяться: корпус компресора, ротори, опорні й упорні підшипники, ущільнення. На середній стовщеній частині роторів нарізані гвинти – найбільш складні й точні деталі гвинтового компресора. Обертання роторів гвинтів синхронізується шестірнями, що сидять на валах роторів.

Гвинти сучасних гвинтових компресорів являють собою циліндричні косозубі крупномодульні шестірні із зубами спеціального профілю. Зуби кожного із гвинтів у перетині площиною, перпендикулярної осі обертання гвинта (торцевою площиною), обкреслені спеціально підібраними кривими, що утворюють профіль зубів. Профілі зубів парних гвинтів підбираються таким чином, щоб при взаємному обкатуванні гвинтів їхні зуби сполучалися теоретично безсоромно. У свою чергу вершини зубів, при обертанні гвинтів циліндричні поверхні, що описують, утворюють із корпусом також теоретично безсоромне сполучення.

Зовсім очевидно, що для обертання гвинтів між ними, а також між гвинтами й корпусом повинні бути малі, але безпечні для руху гвинтів

зазори. Величина цих зазорів є одним з основних факторів, що визначають економічність гвинтових машин.

Для збереження двосторонніх бічних зазорів між зубами гвинтів їхні вали з'єднуються шестірнями, що виключають можливість взаємного торкання гвинтів. Збереження зазорів між гвинтами й корпусом у радіальному й осьовому напрямках забезпечується опорними й упорними підшипниками. Сказане ставиться до гвинтових машин сухого стиску, що працює без подачі рідини, що змазує, у робочий простір.

В останні роки поширилися гвинтові компресори, що працюють із подачею масла в робочий простір. У цих машинах гвинти можуть взаємно стикатися, якщо це допускає характер торкання бічних профілів їхніх зубів, і тоді шестірні на роторах можуть бути відсутні. Однак торкання гвинтів з корпусом і в цьому випадку неприпустимо.

У гвинтових компресорах відсутні клапани або будь-які інші розподільні органи. Вони не мають також частин, що роблять зворотно-поступальний рух.

На рис. 1.3 показані схематичні розрізи гвинтового компресора. У корпусі 1, що складається з декількох частин, є відповідні розточення з паралельними осями, у яких містяться ротори.

Розточення корпусу під гвинти перетинаються між собою, утворюючи в поперечному перерізі фігуру у виді вісімки. Ці розточення утворюють один загальний простір, що з одного боку поєднується за допомогою отвору всмоктування з патрубком або камерою всмоктування, з іншого - за допомогою отвору нагнітання з патрубком або камерою нагнітання. Отвори всмоктування й нагнітання взаємно розташовані по діагоналі. Таке розташування можуть мати й патрубки всмоктування й нагнітання, не виключаючи і іншого їхнього взаємного розташування на корпусі компресора.

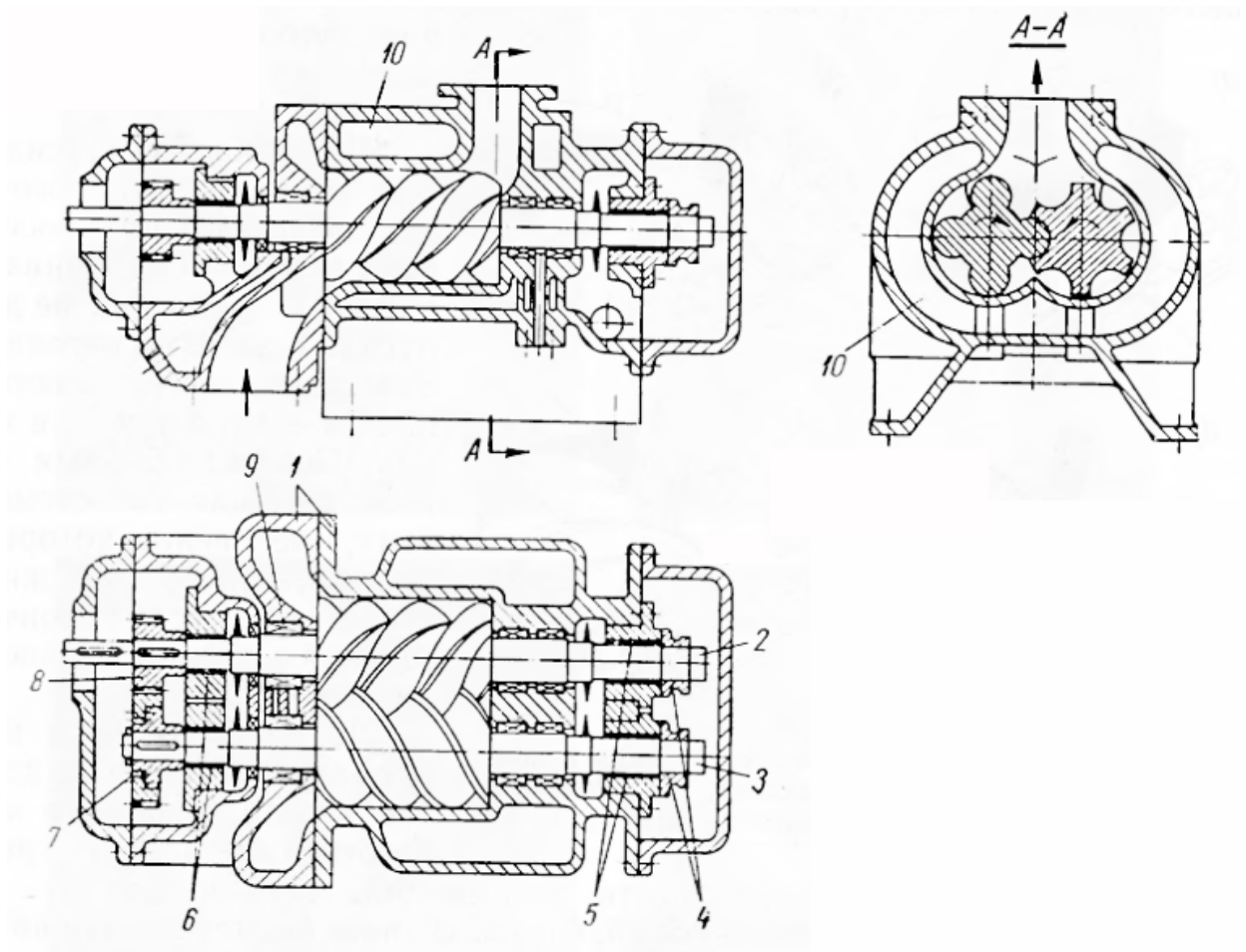


Рисунок 1.3 – Конструктивна схема гвинтового компресора
з охолоджуванням корпусом

Отвір всмоктування має форму приблизно двох дотичних розімкнутих кільцевих секторів. Він розташований з торця гвинтів і заходить іноді на невеликій ділянці й на бічну поверхню. Отвір нагнітання, як правило, розташовується й збоку й з торця гвинтів.

Корпус компресора має порожнини 10 для циркуляції охолоджуючої рідини або, якщо тиск стиску невеликий, ребра для охолодження зовнішнім потоком повітря.

Гвинтові компресори, що випускають промисловістю, мають два гвинти (ротора). Один з них ведучий 2 (рис. 1.3) з'єднується із двигуном. Він має опуклі, широкі зуби. Інший гвинт 3 – ведений – має ввігнуті й тонкі зуби. Крутний момент від двигуна передається безпосередньо або через

мультиплікатор (іноді редуктор) тільки провідному гвинту. Ведений гвинт із зубами профілів, що застосовуються нині, сприймає лише невелику частку загального крутного моменту. Тому шестірні, що зв'язують гвинти, передають також лише невелику частину загального крутного моменту машини.

Шестірні 7 і 8, що сидять на валах веденого й ведучого роторів, зв'язують гвинти й синхронізують їхнє обертання, не допускаючи взаємного торкання. Ці шестірні називаються шестірнями зв'язку. Звичайно більша з них, що сидить на веденому валу, має вінець, що фіксується по окружності лише після остаточної взаємної установки гвинтів.

На валах роторів можу також перебувати інші деталі, наприклад мастиловідбійні кільця, гребені упорних підшипників, елементи ущільнення, втулки й т.п.

Як опорні підшипники 5, 6 (рис. 1.3) застосовуються підшипники ковзання або кочення. Осьові зусилля, що діють на ротори, сприймаються упорними підшипниками 4, також ковзного або тертя, що котиться. У безпосередній близькості від гвинтів на валах розміщаються ущільнення 9. Оберти гвинтового компресора прийнято вважати по обертах провідного гвинта.

Принцип дії гвинтового компресора полягає в наступному. При обертанні гвинтів на стороні виходу зубів із зачеплення поступово, починаючи від торця усмоктування, звільняються западини між зубами. Ці западини, надалі називані також порожнинами, завдяки створюваному в них розрідженню заповнюються газом, що надходить через вікно з камери усмоктування. У той момент, коли порожнини повністю звільняються на протилежному торці гвинта від їхніх зубів, що заповнюють, обсяг їх досягне максимальної величини; пройшовши вікно, вони роз'єднуються з камерою усмоктування. Процес усмоктування газу в них закінчиться. У такому положенні показані порожнини на рис. 1.4, а (затемнені).

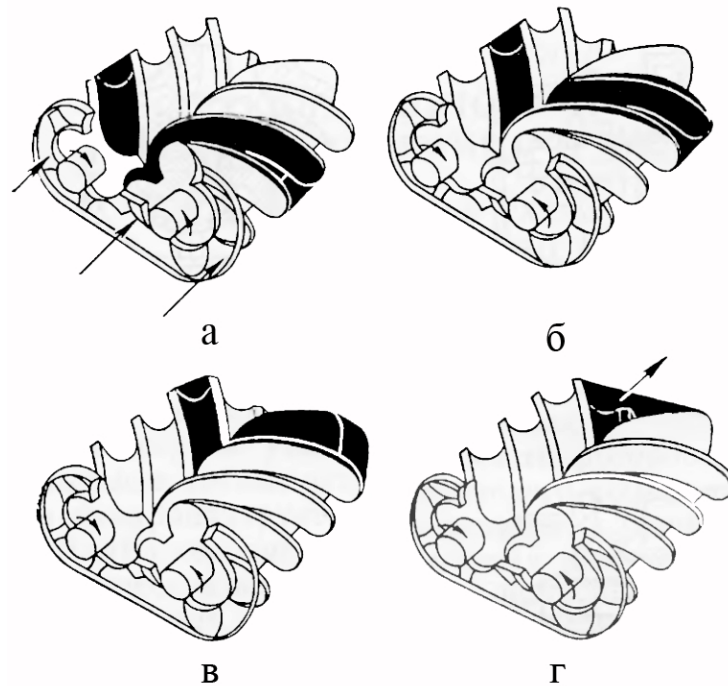


Рисунок 1.4 – Послідовність робочого процесу в компресорі:

а – всмоктування; б – стиснення; в – завершення внутрішнього стиснення;
г – виштовхування газу

Обсяги газу, обмежені поверхнями гвинтів і корпусу, уже роз'єдналися з камерою усмоктування, але ще не з'єдналися з камерою нагнітання. Положення гвинтів, при якому починається стиск газу в порожнині P_{11} провідного гвинта, показано на рис 3.а. Це положення особливо чітко видно у гвинтів із симетричним профілем зубів.

У міру входу зуба веденого гвинта в западину провідний обсяг, займаний газом, зменшується й газ стискується.

Через деякий кут повороту порожнини P_{11} і P_{21} провідних і веденого гвинтів з'єднуються між собою (рис. 1.4, б-г), утворивши одну загальну парну порожнину. Потім зуб провідного гвинта почне заповнювати порожнина P_{21} веденого (рис. 1.4, г), що викличе більш інтенсивний стиск газу в парній порожнині $P_{11} - P_{21}$.

Процес стиску газу в парній порожнині триває доти, поки всі зменшуваний її обсяг зі стисненим газом не пройде до крайки вікна

нагнітання. Таке положення парної порожнини показано на рис. 1.5, причому на останньому порожнині Π_{22} і Π_{12} підійшли до отвору нагнітання. У цей момент процес внутрішнього стиску газу в компресорі закінчується.

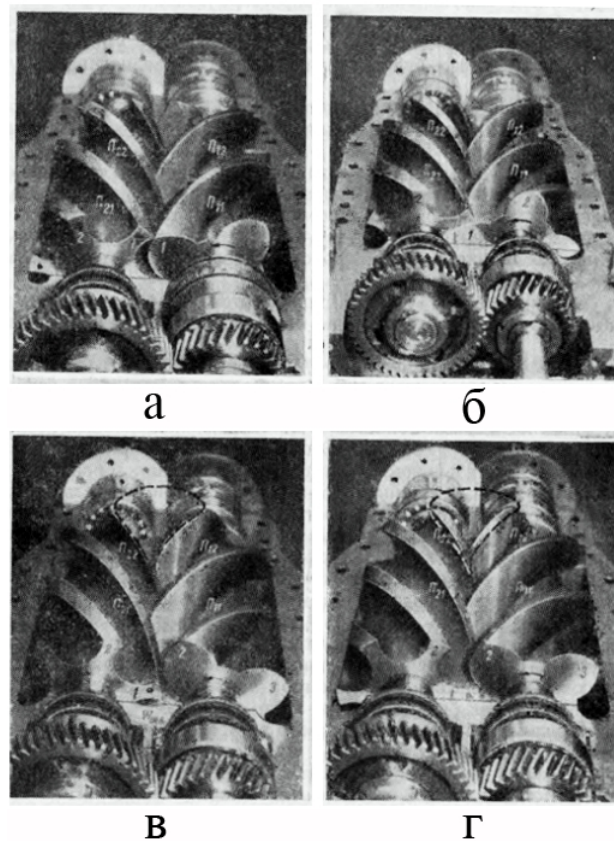


Рисунок 1.5 – Послідовність положення гвинтів: а – початок стискання в парних полостях Π_{11} і Π_{21} ; б – продовження стискання; в – момент з'єднання парних порожнин Π_{11} і Π_{21} з камерою нагнітання – кінець внутрішнього стискання і початок виштовхування; $W_{\text{шв}}$ – затиснений об'єм зі сторони всмоктування; г – початок заповнення порожнини Π_{21} зубом 2 ведучого гвинта

Таким чином, величина внутрішнього стиску газу у гвинтовому компресорі залежить від розташування отвору нагнітання: при його зменшенні внутрішній стиск газу буде збільшуватися, при збільшенні – зменшуватися.

При подальшому обертанні гвинтів, після з'єднання парної порожнини зі стисненим газом з камерою нагнітання, відбувається процес виштовхування газу.

Тиск внутрішнього стиску газу може не збігатися з тиском нагнітання, т. є з тиском газу, що подається споживачеві. Якщо тиск внутрішнього стиску менше тиску нагнітання, то відбувається зовнішнє негеометричне дотискання газу до тиску нагнітання. Якщо воно вище – відбувається розширення газу й падіння тиску. При роботі компресора на цих режимах мають місце підвищені втрати, особливо при роботі з «перестисканням» газу.

1.4 Технічні характеристики компресорів типу КВД

Поршневі водоохолоджувані компресори повітря КВД–Г і КВД–М забезпечують стискання повітря до 60 кгс/см^2 (надлишкове).

Основі технічні характеристики компресорів типу КВД:

- продуктивність компресорів – $0,166 \text{ м}^3/\text{хв}$ ($10 \text{ м}^3/\text{год}$);
- охолодження водяне, витрати води 800 л/год ;
- витрати мастила 30 г/год ;
- потужності приводних електродвигунів – 4 кВт (КВД–Г) або $4,5 \text{ кВт}$ (КВД–М).

Компресори КВД–Г використовуються на різноманітних виробництвах.

Компресор КВД–М призначений для морських і річкових суден та застосовується для наповнення стисненим повітрям пускових балонів. Стиснуте компресором КВД–М повітря використовується для запуску дизелів, в тому числі аварійного. Компресори КВД–М сертифікуються Морським реєстром. В системі охолодження компресора КВД–М може бути використана морська вода.

Основні розміри компресорів КВД-Г і КВД-М (рис. 1.6) наведено в табл. 1.1.

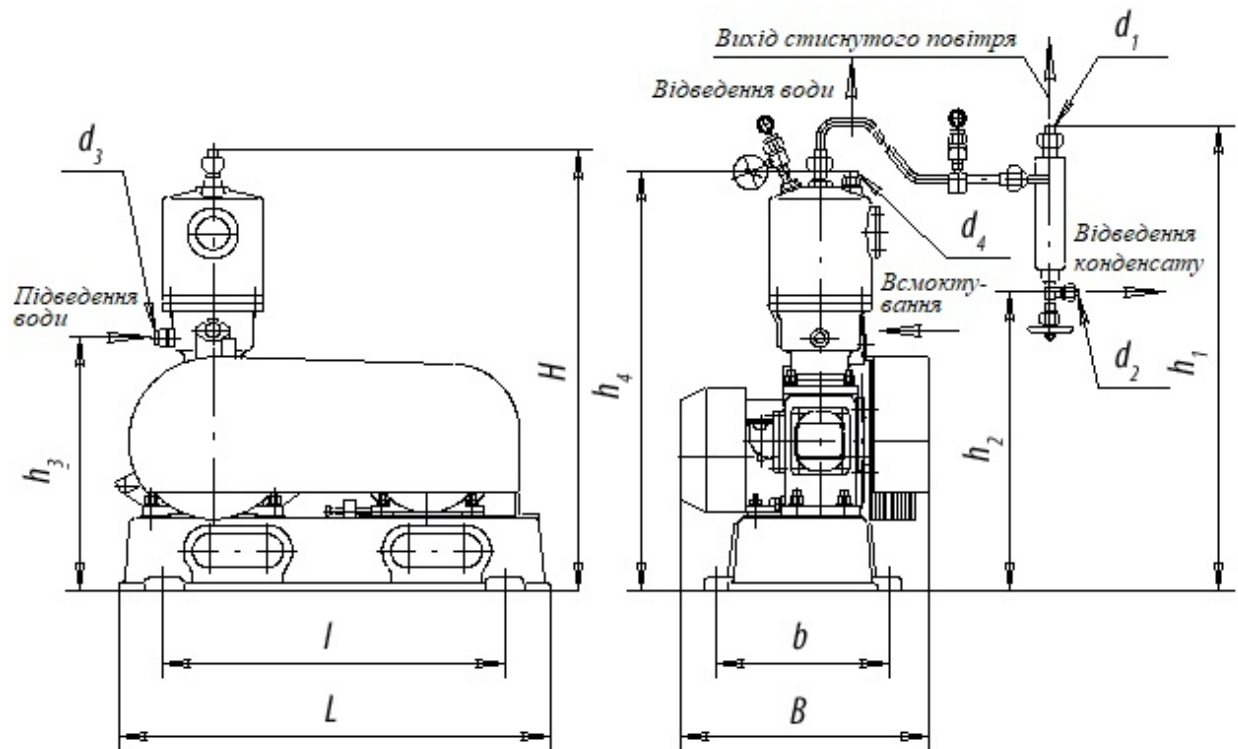


Рисунок 1.6 – Основі розміри компресорів КВД-Г і КВД-М

Таблиця 1.1 – Основні розміри компресорів КВД-Г і КВД-М

Компресор	L	I	H	h_3	h_4	B	b	d_1	d_2	d_3	d_4
КВД-Г	770	600	780	449	740	430	305	13	9,5	G 3/8	G 3/8
КВ-М	370	216	720	311	605	340	84	13	9,5	G 3/8	G 3/8

Компресор типу КВД відноситься до типу спеціальних компресорів і призначений, головним чином, для роботи з наповнення повітрям пускових балонів різних двигунів типу дизелів.

Компресор типу КВД представляє собою компакту вертикальну машину простої дії, двоступеневого стиснення, з диференціальним поршнем, з водяним охолодженням циліндрів і холодильників.

Приводом компресора служить електродвигун, інколи, також, використовується двигун внутрішнього згоряння із застосуванням клинопасової передачі.

Компресор може працювати в приміщеннях, що не мають хімічно активних корозивних середовищ і не містяться вибухопожежні концентрації сумішей газів або пилу з повітрям.

В табл. 1.2 зведено технічні дані для приводних двигунів компресорів типу КВД.

Таблиця 1.2 – Характеристики приводних двигунів компресорів типу КВД

Модель компресора	Модель електродвигуна	Робоча напруга, В	Потужність, кВт	Частота обертання, кВт	Маса, кг
КВД-Г	Асинхронний електродвигун 4А100L4	220/380	4,0	1420	41
КВД-М	Асинхронний електродвигун 4М51-4	220/380	4,5	1420	65
КВД-Б	Двигун внутрішнього згоряння УД-2		5,9 (8)	2200	85

Як видно з табл. 1.2, приводним електродвигуном для суднового компресора КВД-М є асинхронний двигун 4М51-4 потужністю 4,5 кВт і частотою 1420 об/хв.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Класифікація та термінологія наукових досліджень, структурно-логічна схема дослідження

В різних літературних джерелах наукові дослідження класифікують з використанням різних ознак [6].

Фундаментальні наукові дослідження – це експериментальна або теоретична діяльність, направлена на отримання нових знань про основні закономірності будови, функціонування і розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища.

Прикладні наукові дослідження – це дослідження, що є націленими переважно на вживання нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних завдань. Іншими словами, вони є спрямованими на рішення проблем використання наукових знань, отриманих в результаті фундаментальних досліджень, в практичній діяльності людей.

Пошуковими називають наукові дослідження, націлені на визначення перспективності роботи над темою, відшукування шляхів рішення наукових завдань.

У теорії пізнання виділяють два рівні дослідження: теоретичний (займається номенклатурою) та емпіричний (експериментальний).

Теоретичний рівень дослідження характеризується перевагою логічних методів. На цьому рівні одержані факти досліджуються, обробляються за допомогою логічних понять, умовиведень, законів і інших форм мислення.

Тут досліджувані об'єкти аналізуються, узагальнюються, розкриваються внутрішні зв'язки, закони розвитку. На цьому рівні пізнання

за допомогою органів чуття (емпірія) може бути присутнім, але воно є підлеглим.

Структурними компонентами теоретичного пізнання є проблема, гіпотеза і теорія.

Проблема – це складна теоретична або практична задача, способи рішення якої невідомі або відомі не повністю, як результат глибокого вивчення. Розрізняють проблеми нерозвинені (передпроблеми) і розвинені. Актуальність проблеми, що постає перед дослідником, пов'язана з необхідністю та своєчасністю вивчення та вирішення розбіжностей з метою удосконалення теорії.

Гіпотеза є вимагає перевірки і доведення припущення про причину, яка викликає певний висновок, про структуру досліджуваних об'єктів і характер внутрішніх і зовнішніх зв'язків структурних елементів.

Наукова гіпотеза повинна відповідати наступним вимогам:

- 1) релевантності, тобто співвіднесення з фактами, на які вона спирається;
- 2) можливості бути перевіреною на практиці, співвіднесення з даними спостереження або експерименту (виняток становлять гіпотези, що не перевіряються);
- 3) сумісності з існуючим науковим знанням;
- 4) володіння пояснювальною силою, тобто з гіпотези повинна виводитись деяка кількість підтверджуючих її фактів, наслідків. Більшою пояснювальною силою володітиме та гіпотеза, з якої виводиться найбільша кількість фактів;
- 5) простоти, тобто вона не повинна містити ніяких довільних допущень, суб'єктивістських нашарувань.

Теорія – це логічно організоване знання, концептуальна система знань, яка адекватно і цілісно відображає певну область дійсності. Вона володіє наступними властивостями:

1. Теорія є однією з форм раціональної розумової діяльності.
2. Теорія – це цілісна система достовірних знань.
3. Вона не тільки описує сукупність фактів, але і пояснює їх, тобто виявляє походження і розвиток явищ і процесів, їх внутрішні та зовнішні зв'язки, причинні і інші залежності і т.д.
4. Всі положення і висновки, що містяться в теорії, є обґрунтованими, доведеними.

На рис. 2.1 зображено структура методів наукових досліджень.



Рисунок 2.1 – Структура методів наукових досліджень

Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря показана на рис. 2.2.

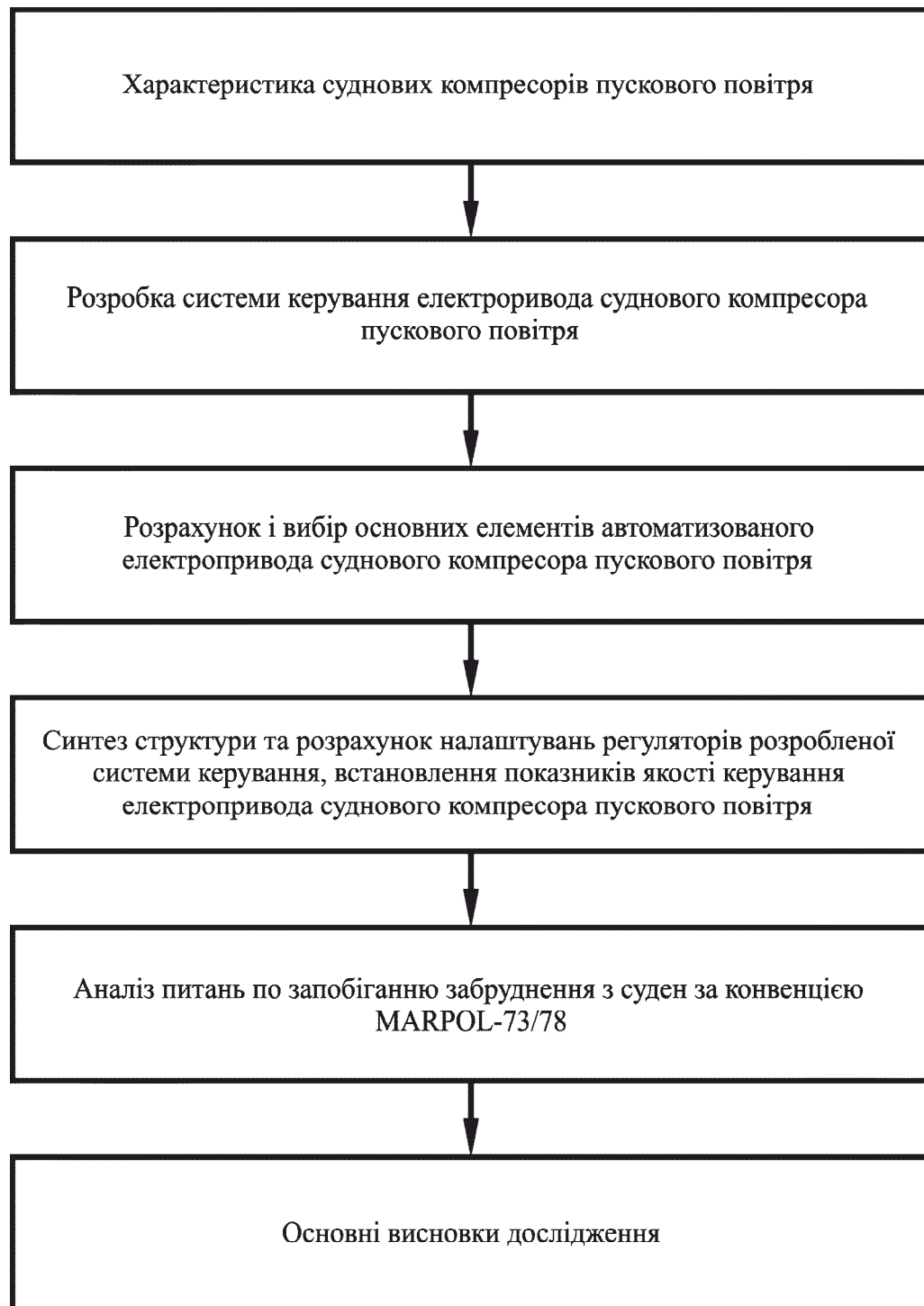


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря

2.2 Обґрунтування необхідності підтримки постійності швидкості обертання ротора суднового компресора пускового повітря

Виконавчі механізми, такі як компресори, вентилятори і насоси відносять до турбомеханізмів [7-10]. Електроприводами турбомеханізмів споживається приблизно 25 % всієї електроенергії, що виробляється, оскільки в переважній більшості такі електроприводи є нерегульованими. Традиційні засоби регулювання продуктивності турбомеханізмів включають дроселювання напірних ліній та зміну загального числа агрегатів, що працюють, за одним з технологічних параметрів. Енергетичні показники такого регулювання є низькими. Застосування частотно-регульованого електропривода дозволяє забезпечити потрібні технологічні показники при суттєвому скороченні витрат електроенергії. Прикладами використання турбомеханізмів є насосні станції і установки водопостачання промислових процесів та житлових будинків, де при змінних витратах води, необхідно підтримувати постійний тиск (напір) на певному, частіше всього, номінальному рівні.

Зміна витрат Q води у споживача здійснюється головним чином за рахунок дроселювання лінії, тобто зміни гідравлічного опору R . При цьому для стабілізації напору $H = H_{\text{ном}}$ необхідно змінювати кутову швидкість ω насосу (рис. 2.3). У більшості стабілізація напору H при змінних витратах Q відбувається при наявності протитиску H_c в гідравлічній мережі.

Регулювання швидкості насоса для підтримки постійності напору краще всього реалізовувати за рахунок зміни частоти напруги, що живить асинхронний двигун [11-13]. Це можна реалізувати за допомогою різних законів -частотного керування, що дають різні техніко-економічні показники.

Широко поширена думка, що статичний момент турбомеханізмів пропорційний квадрату швидкості, справедлива тільки при відсутності протитиску, що є окремим випадком. Більш поширені системи при наявності

протитиску, коли статичний момент є складною функцією швидкості, що, в свою чергу, висуває задачу формування економічного закону частотного регулювання швидкості асинхронного електропривода. Тут ставиться завдання дослідити асинхронний частотно-регульований електропривод турбомеханізмів при використанні економічного закону регулювання електричних машин та забезпечення оптимального пуску турбомеханізмів, що працюють у режимі стабілізації напору при змінних витратах та даному протитиску.

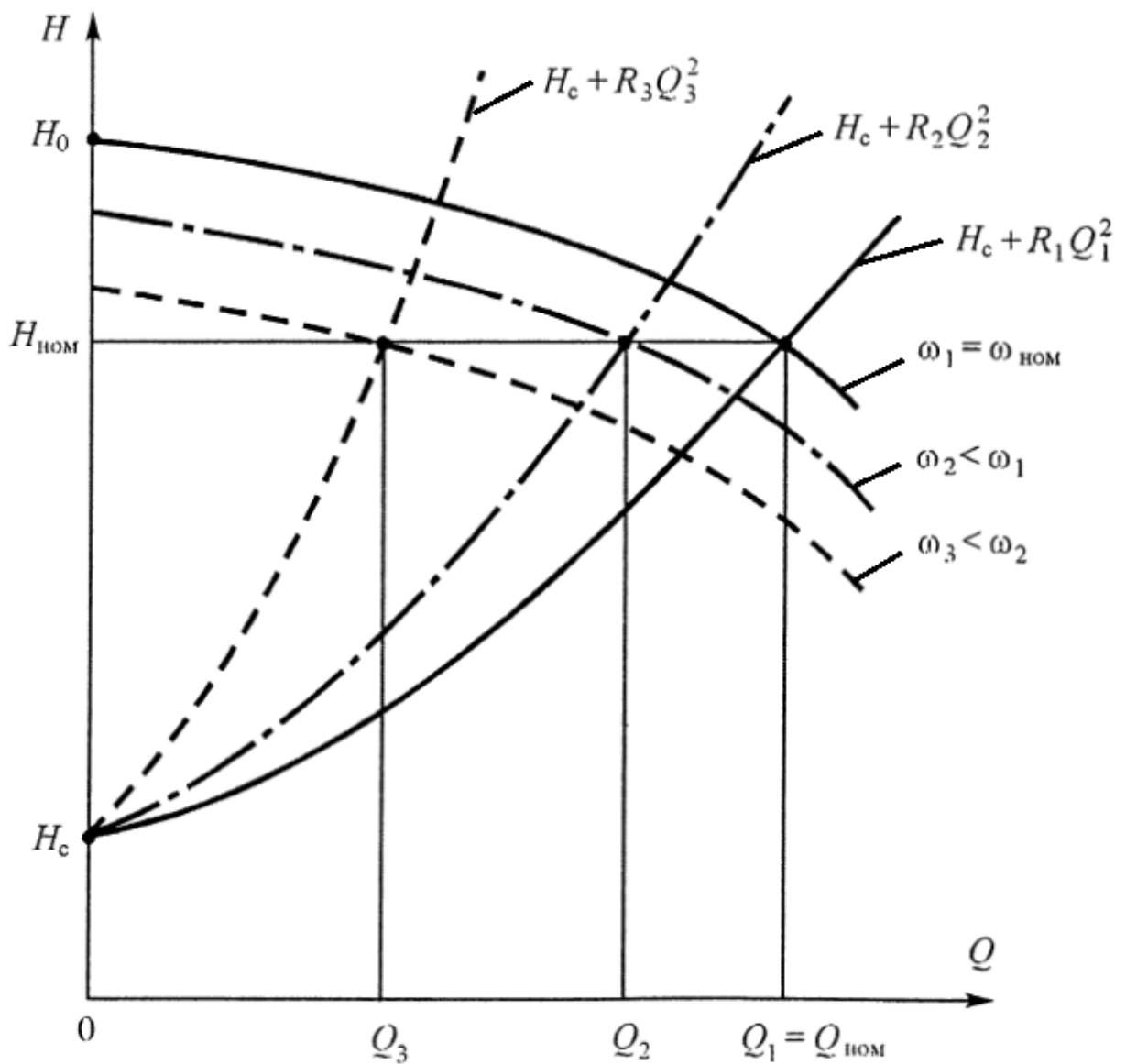


Рисунок 2.3 – Криві стабілізації тиску на рівні $H_{\text{ном}}$ при змінних витратах шляхом регулювання швидкості турбомеханізму

Для суднового компресора пускового повітря необхідно підтримувати постійність швидкості обертання ротор, цим буде забезпечений номінальний напір на виході і постійність об'єму повітря, що перекачується. Типова функціональна схема такої системи керування представляє собою систему скалярного керування зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Для турбомеханізмів (компресори, вентилятори, насоси) закони частотного керування можна описати наступними математичними виразами [14, 15]:

$$M_c \approx c\omega^2 = c \frac{4\pi^2}{p^2} f_1^2;$$

$$\frac{M_k}{M_c} = \frac{3p^3 U_1^2}{8\pi^3 L_k f_1^2 4\pi^2 c f_1^2} = \frac{3p^3 U_1^2}{32\pi^4 L_k c f_1^4} = \text{const для } \frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}.$$

Графічний опис даних математичних формул зображено на рис. 2.4.

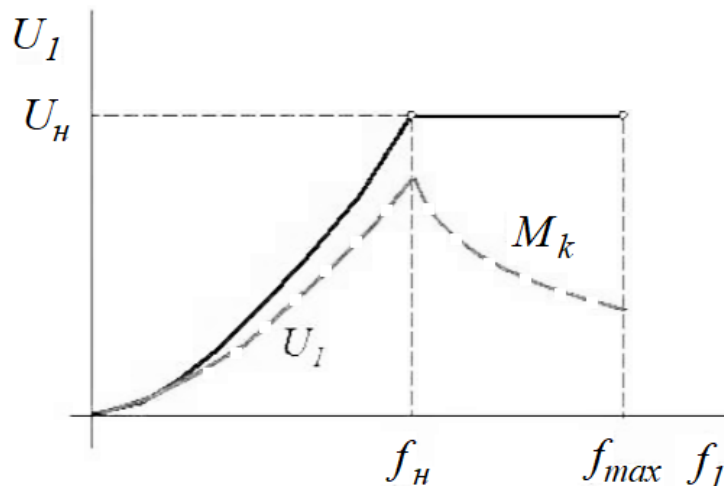


Рисунок 2.4 – Закони частотного керування для турбомеханізмів

Математичні формули, що наведені вище, стосуються турбомеханізмів, насамперед компресорів вентиляторів і насосів. Їх необхідно враховувати під час розробки систем керування електроприводів відповідних турбомеханізмів.

2.3 Метод скалярного керування електропривода суднового компресора пускового повітря

Враховуючи рекомендації для автоматизованих електроприводів турбомеханізмів (компресори, вентилятори, насоси тощо) обираємо систему скалярного керування електропривода суднового компресора пускового повітря [7, 8, 10].

Принцип скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода суднового компресора пускового повітря базується на зміні частоти і поточних значень модулів змінних асинхронного двигуна (АД) (напруг, магнітних потоків, потокозчеплень і струмів електричних кіл двигуна). Керованість АД при цьому може забезпечуватися сумісним регулюванням або частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму I_1 , обмотки статора. Перший спосіб керування прийнято називати частотним керуванням, другий – частотно-струмовим керуванням.

Вибір способу і принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних і енергетичних вимог до асинхронного електропривода.

Скалярний принцип частотного керування є найбільш поширеним в асинхронному електроприводі. Йому властива технічна простота вимірювання і регулювання змінних АД, а також можливість побудови розімкнених систем керування швидкістю.

Основний недолік подібного принципу керування полягає в важкості реалізації бажаних законів регулювання швидкості і моменту АД в динамічних режимах. Пов'язано це з складними електромагнітними процесами, що протікають у АД.

Скалярне частотно-струмове керування АД характеризується малим критичним ковзанням і постійністю критичного моменту при постійності струму, що живить АД, і зміні його частоти. Проте в розімкнених системах

подібне керування практично виключено, оскільки із збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік АД і для забезпечення бажаних перевантажувальних характеристик АД по моменту необхідне помітне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора.

2.4 Розімкнуті системи скалярного керування електроприводами суднових компресорів пускового повітря

При невисокій точності і обмеженому діапазоні регулювання швидкості АД найбільш доцільним є його частотне керування в розімкнутій системі електроприводу (рис. 2.5) [8, 10]. У подібних системах частота f_1 і напруга живлення U_1 АД формуються пропорційно напрузі керування u_k в перетворювачі частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруги. Для компенсації падіння напруги на внутрішніх опорах ПЧ і можливих коливань напруги його живлячої мережі в перетворювачах частоти як джерелах напруги прийнято використовувати внутрішні контури стабілізації вихідної напруги.

Для збереження постійності перевантажувальної здатності АД по моменту у функціональному перетворювачі (ФП) передбачається таке співвідношення між напругою завдання частоти u_f і напруги u_u на виході ПЧ, при якому забезпечується компенсація падіння напруги на активному опорі обмоток статора. Теоретично це співвідношення характеризується нелінійною функцією, коли u_u знижується в меншому ступені, ніж u_f .

Для більшості серійних перетворювачів частоти ця функція може бути лінеаризована шляхом вибору в статичній характеристиці ФП двох базових координат – u_{u1} при u_{f1} і u_{u2} при u_{f2} (рис. 2.4). Перша координата визначає

завдання мінімального значення частоти f_1 і відповідної йому напруги U на виході ПЧ, при яких ще зберігається рівність співвідношень $U_1/f_1 = U_{1ном}/f_{1ном}$. Для АД загального призначення при діапазоні регулювання швидкості в розімкненій системі частотного управління до (8...10): 1 значення мінімальної частоти практично вибирається в межах $(0,3...0,4) f_{1ном}$.

Друга координата обирається з урахуванням зменшення тепловідводу загальмованого двигуна (в режимі динамічного гальмування) з наступних умов обмежень струму статора на рівні: $(0,7...0,8) I_{1ном}$.

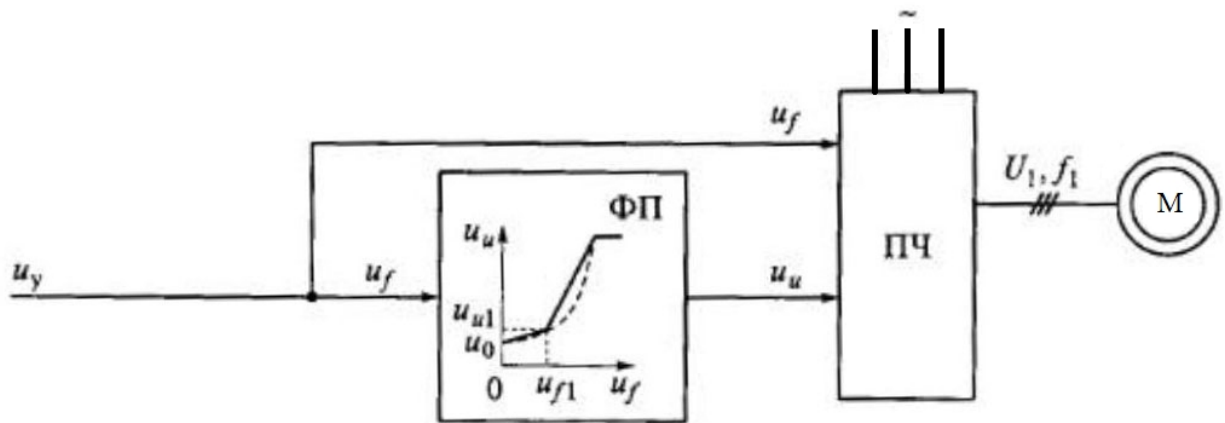


Рисунок 2.5 – Функціональна схема розімкнутої системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун»

Це відповідає встановленню вихідної напруги перетворювача частоти при $u_{f1} = 0$ на рівні $U_1 \cong (0,7...0,8) I_{1ном} R_1$, де R_1 – активний опір обмотки статора АД.

Реальне найменше значення вихідної частоти перетворювача і відповідне йому значення u_{f1} корисно вибирати з умови $f_{1min} \cong \omega_{0ном} p_n s_c / 2\pi$, при якому пусковий момент АД буде близьким до

моменту сил опору на валу двигуна. Тут s_c – ковзання АД при його статичному навантаженні. При подібному виборі зона нечутливості по сигналу керування швидкістю АД буде мінімальною і рух електроприводу почнеться практично одночасно з початком збільшення сигналу керування.

При вентиляторному навантаженні на валу АД, для якого $M_c \cong \omega^2$, співвідношення між u_f і u_u повинно забезпечувати закон керування, близький до постійності U_1/f_1^2 . На рис. 2.5 це співвідношення відбите у ФП штриховою лінією. Початкові значення частоти і напруги на виході ПЧ, які вибираються з тих же міркувань, що і при $M_c = const$, будуть при цьому помітно меншими за рахунок менших значень пускових моментів.

При регулюванні швидкості АД вище номінальної для привода механізмів, що мають в даному діапазоні швидкостей постійну потужність навантаження, напруга живлення АД зберігається рівною номінальному значенню. При цьому допустимий момент АД убиває в першому наближенні обернено пропорційно до збільшення частоти, а перевантажувальна здатність АД по моменту зменшується обернено пропорційно до частоти.

Для обмеження струмів і моментів АД при його пуску прийнято обмежувати темп зміни напруги керування u_y за рахунок включення в коло керування задатчика інтенсивності.

У статичному режимі розімкнена система частотного керування (рис. 2.5) з приведеними вище співвідношеннями U_1/f_1 практично забезпечує збереження номінальної перевантажувальної здатності АД в діапазоні зміни частоти не більш (8...10):1 при постійному навантаженні і (10...25):1 – при вентиляторному. При збереженні ж заданої точності регулювання швидкості АД діапазон її регулювання в розімкненій системі частотного керування значно менший, при постійному навантаженні і точності регулювання 10 % він не перевищує діапазону 3:1. Недоліком розімкненої системи частотного керування є і відсутність обмежень змінних

електроприводу (моментів, струмів, напруги) при можливих перевантаженнях з боку робочого механізму або відхиленнях напруги живлячої мережі.

2.5 Замкнуті системи скалярного керування електроприводами суднових компресорів пускового повітря

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат [8, 10]. Узагальнена функціональна схема подібної системи показана на рис. 2.6.

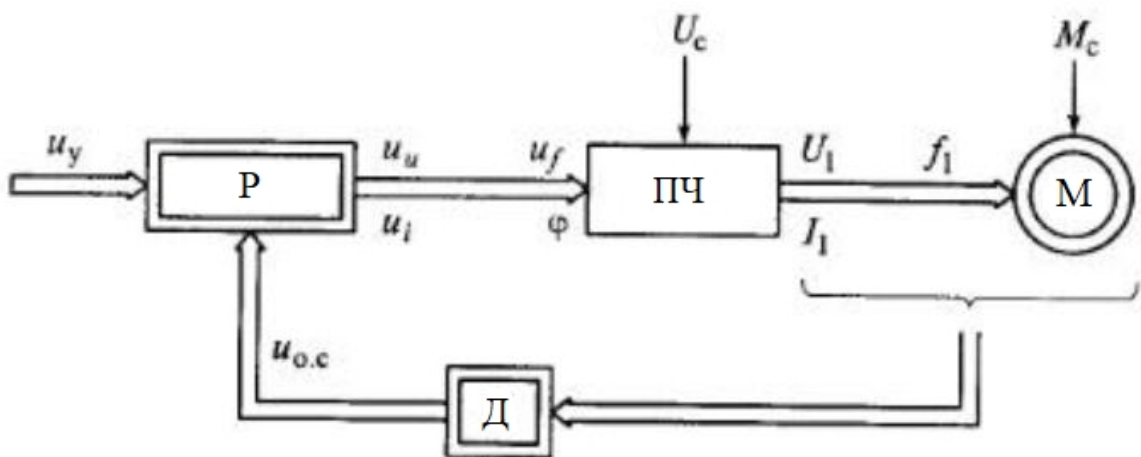


Рисунок 2.6 – Функціональна схема замкненої системи ПЧ-АД при частотному керуванні скалярного типу

З функціональної схеми видно, що окрім АД і керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори P і датчики D змінних електроприводу. Керуючими впливами u_y , на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електроприводу – швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і тому подібне. Впливами, що обурюють, на електропривод можуть бути моменти сил опору

M_c на валу АД або коливання напруги мережі U_c , що живить електропривод. Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, що доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або змінні, що визначаються розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т. п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків $u_{o.c}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою u_u і струмом i_i перетворювача частоти.

Розглянемо приклади замкнутих систем скалярного керування, що найбільше поширені в промислових електроприводах.

Варіант функціональної схеми системи частотного керування АД із зворотним зв'язком за струмом статора, представлений на рис. 2.7. Тут сигнали i_{sa} і i_{sc} , що пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків струму ДС_а і ДС_с поступають у функціональний перетворювач струму ФПС, де формуються вихідні сигнали I_1 і I_{1c} , що пропорційні відповідно значенню струму статора і активній складовій цього струму. В вузлах Σ_1 і Σ_2 сумуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що поступають з функціональних пристроїв А1, А2 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вхід А3 лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу $I_{1\max}$, що пропорційний діючому значенню максимально допустимого струму статора АД.

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків і їх вплив на властивість електроприводу доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку по струму з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора Σ_2 поступає додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . В результаті по мірі збільшення струму статора збільшується і

вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, що визначається сигналом u_f , залишається постійною. Підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 кола позитивного зворотного зв'язку по струму. Очевидно, чим більше k_1 тим більше буде потік при тому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

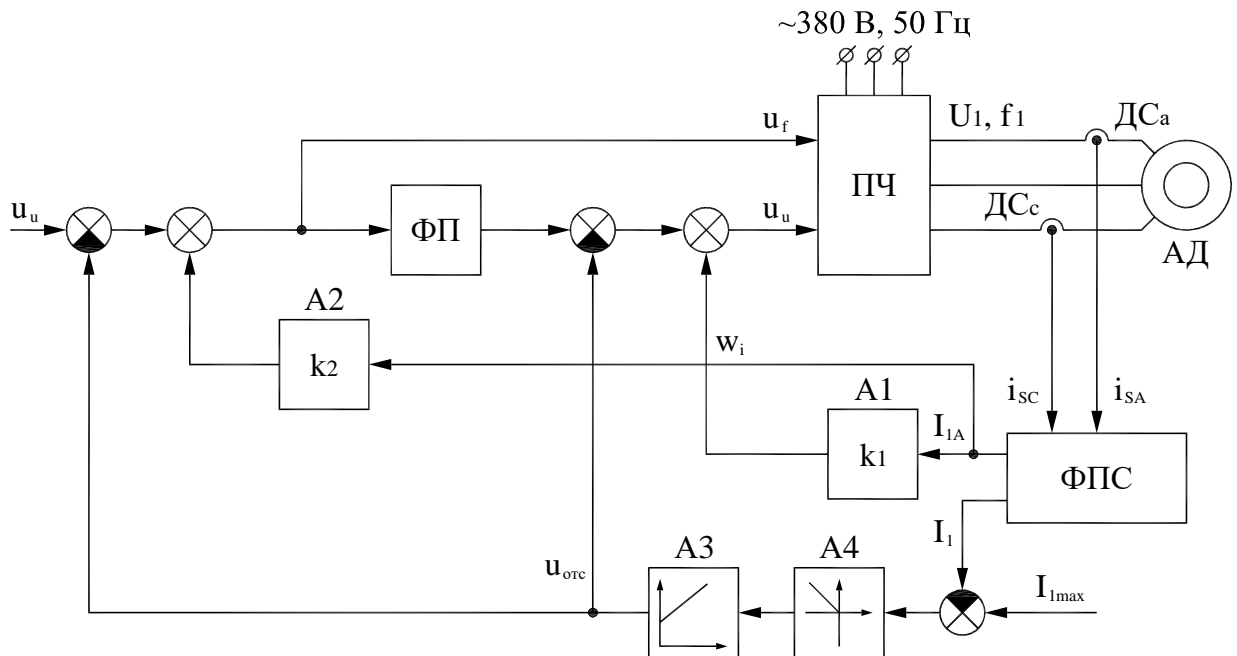


Рисунок 2.7 – Функціональна схема системи керування типу
«перетворювач частоти – асинхронний двигун»
зі зворотним зв'язком за струмом статора

По мірі зниження частоти живлення повний опір кола намагнічення і, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічення в замкнутій по повному струму системі

ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 треба зменшувати по мірі зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Подібний недолік відсутній при використанні зворотного зв'язку по активній складовій струму статора. Якщо в якості сигналу зворотного зв'язку прийняти активну складову струму статора, як показано на рис. 2.7, то постійність потокозчеплення статора зберігатиметься при незмінному коефіцієнті k_1 .

При частотному керуванні АД з подібним зворотним зв'язком по струму можлива реалізація механічних характеристик електропривода з підвищеною перевантажувальною здатністю по моменту і жорсткості, близькій до природної лише в невеликому діапазоні регулювання швидкості.

Вплив позитивного зворотного зв'язку по струму з боку пристрою А2 пов'язаний з одночасною дією на вихідну частоту і напругу ПЧ. За рахунок одночасного їх збільшення при зростанні навантаження на валу АД відповідно збільшується швидкість ідеального холостого ходу АД, забезпечуючи тим самим стабілізацію його швидкості, і зберігається постійність перевантажувальної здатності АД по моменту. Збільшення коефіцієнта посилення k_2 пристрою А2, що сприяє підвищенню жорсткості механічної характеристики АД, обмежене умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями частоти і напруги живлення АД.

Сукупність позитивних зворотних зв'язків по струму з використанням пристроїв А1 і А2 за рахунок стабілізації швидкості останніми дозволяє помітно підвищити жорсткість механічних характеристик АД і при постійному статичному навантаженні збільшити діапазон регулювання швидкості вниз від номінальної до 10:1. Перевага подібних систем полягає у відсутності тахогенератора на валу АД.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень по струму використовується режим відсічення струму за допомогою суматора

Σ_3 і пристрою А4 (рис. 2.7). При $I_1 > I_{1\max}$ на вхід ПІ-регулятор струму відсічення А3 поступає сигнал перевищення струму статора вище допустимого. Вихідний сигнал А3 u_{omc} може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол Σ_2), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол Σ_1).

При дії тільки на вихідну напругу перетворювача, за умови, що регулятор А3 має інтегральний канал регулювання, за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму перетворювач ПЧ з джерела напруги переходить в режим джерела струму. Тоді при постійності струму статора АД за рахунок більшого коефіцієнта зворотного зв'язку регулятора А3 (для ПІ-регулятор – нескінченно великого), ніж пристрою А1, при зниженні швидкості зменшуватиметься потік і момент двигуна, викликаючи перекидання механічної характеристики АД. Подібний режим роботи відсічення використовується лише спільно з одночасною дією на вихідну частоту перетворювача.

За рахунок сигналу від'ємного зворотного зв'язку по струму статора, що поступає на суматор Σ_1 , (сильнішого, ніж з боку пристрою А2) спільно із стабілізацією струму здійснюється зниження його частоти і, отже, швидкості ідеального холостого ходу АД. Тим самим забезпечується постійність магнітного потоку, абсолютного ковзання і, в результаті, моменту двигуна. Проте статична і динамічна точність стабілізації вказаних змінних обмежена умовами стійкості замкнутих контурів регулювання.

Збільшення діапазону регулювання за швидкістю АД можна отримати за рахунок введення в розглянуту систему керування від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю. Функціональна схема подібної системи при живленні від ПЧ як джерела напруги приведена на рис. 2.8.

Тут канал від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю включає тахогенератор ТГ як датчик зворотного зв'язку, вузол Σ_5 підсумовування

напруги керування швидкістю АД u_y і зворотного від'ємного зв'язку за швидкістю $u_{o.c}$, регулятор абсолютного ковзання А5, блок БО обмеження його вихідної напруги u_{pc} , а також вузол Σ_4 сумування напруги u_{pc} і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора Σ_1 .

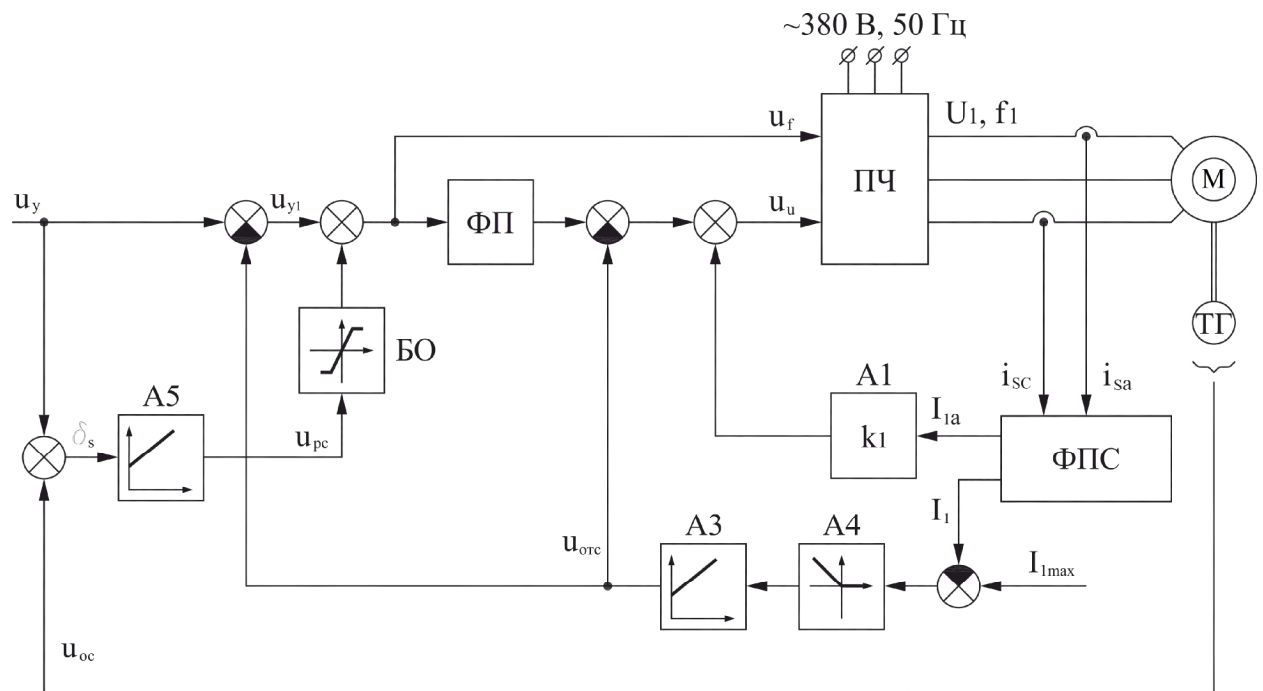


Рисунок 2.8 – Функціональна схема системи керування типу
«перетворювач частоти – асинхронний двигун»
зі зворотним зв'язком за швидкістю

По мірі збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рис. 2.9) за рахунок зменшення швидкості АД і, як наслідок, сигналу $u_{o.c}$ збільшується сигнал розузгодження $\delta_s = u_y - u_{o.c} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} – задана швидкість ідеального холостого ходу АД, що відповідає початковому сигналу керування u_y ; ω – реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{pc} на виході регулятора ковзання, сумуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної складової

передавальної функції регулятора А5 забезпечує такий приріст сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача ФП змінюється в порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 (рис. 2.9, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рис. 2.8, а).

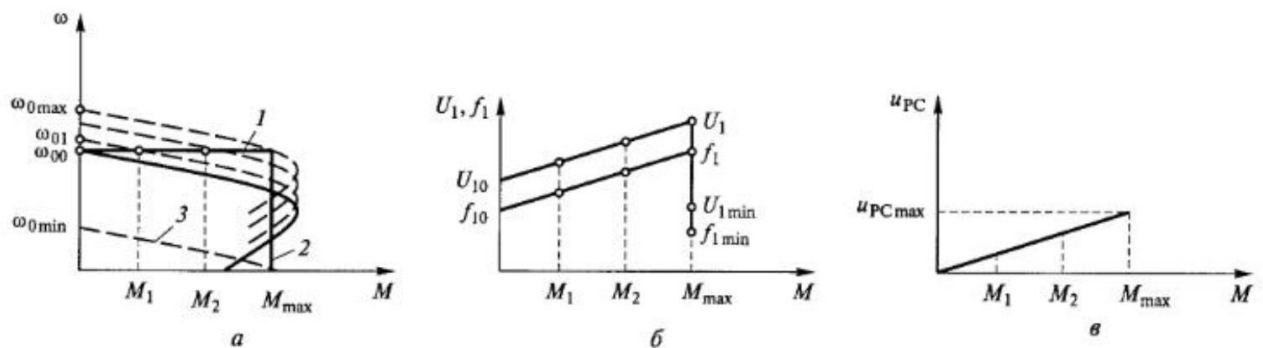


Рисунок 2.9 – Механічні характеристики (а), залежності вихідних напруг і частот перетворювача частоти (б), а також напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі керування типу «перетворювач частоти – асинхронний двигун» зі зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 < I_{1max}$ і, відповідно, $M > M_{max}$), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу u_{pc} на рівні u_{pcmax} (рис. 2.9, в). При цьому вступають в роботу від'ємні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором А3, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напругу статора АД до їх мінімальних значень f_{1min} і U_{1min} обмеження моменту АД при $\omega=0$ на рівні M_{max} (лінія 2 на рис. 2.9, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна

$\omega_{0 \min}$ буде відповідати значенням $f_{1 \min}$ і $U_{1 \min}$, а механічна характеристика – лінії 3 (рис. 2.9, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складової передатних функцій регуляторів А5 і А3.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА, АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ

3.1 Вибір приводного електродвигуна суднового компресора пускового повітря

В якості базового приводного електродвигуна для суднового компресора КВД-М використовується асинхронний двигун 4М51-4 потужністю 4,5 кВт і частотою 1420 об/хв.

На основі технічних характеристик базового асинхронного двигуна для суднового компресора пускового повітря обираємо новий приводний асинхронний двигун 5А112М4 з числом полюсів $2p=4$, синхронна швидкість 1500 об/хв [16, 17]. Інші технічні дані електродвигуна 5А112М4 наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики асинхронного двигуна 5А112М4

Тип двигуна	P_n , кВт	Маса, кг	n_n , об/хв	η	$\cos \varphi$	I_n , А	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$J_{\text{дв}}$, кг×м ²
5А112М4	5,5	56	1430	0,87	0,83	11,7	6,7	2,7	2,9	0,020

Визначимо параметри схеми заміщення асинхронної машини за паспортними даними двигуна.

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0,047,$$

де n_s – синхронна швидкість (швидкість обертання магнітного поля);

n_n – номінальна швидкість обертання двигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = (m_k + \sqrt{m_k^2 - 1}) s_n = (2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1}) 0,047 = 0,262,$$

де $m_k = \frac{M_k}{M_H} = 2,9$ – відношення моменту критичного моменту до номінального моменту.

Визначимо номінальну кутову швидкість:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 1430}{60} = 149,749 \text{ рад/с.}$$

Визначимо швидкість холостого ходу, номінальне ковзання і момент:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номінальний момент:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_H}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{149,749} = 36,728 \approx 37 \text{ Н·м.}$$

Критичний момент:

$$M_k = m_k M_{\text{ном}} = 2,9 \cdot 36,728 = 106,511 \text{ Н·м.}$$

Конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m}.$$

Попередньо конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні $c = 1,02 - 1,05$ для попереднього розрахунку параметрів схеми заміщення. Після розрахунку індуктивностей необхідно порівняти отримані дані з попередньо обраними і уточнити розрахунок. Зазвичай за 2-3 ітерації вдається досягнути збігу прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта.

Приймаємо значення конструктивного коефіцієнта $c_1 = 1,03$.

Механічні втрати:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} I_H U_H \cos \varphi_H - P_H = \sqrt{3} \cdot 11,7 \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,87 - 5,5 \cdot 10^3 = 60,674 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_H / 60)^2} = \frac{60,674}{(2 \cdot 3,142 \cdot 1430 / 60)^2} = 2,706 \cdot 10^{-3}.$$

Опір статора знаходиться з виразу:

$$R_s = \frac{3}{2} \frac{(U_H / \sqrt{3})^2 (1 - s_H)}{c_1 (1 + c_1 / s_K) m_K (P_H + \Delta P_m)} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{(380 / \sqrt{3})^2 (1 - 0,047)}{1,03 \cdot (1 + 1,03 / 0,262) \cdot 2,9 \cdot (5,5 \cdot 10^3 + 60,674)} = 0,841 \text{ Ом.}$$

Опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_H + \Delta P_m)}{(1 - s_{\text{ном}}) \left(\frac{I_K}{I_H} \right)^2 I_H^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(5,5 \cdot 10^3 + 60,674)}{(1 - 0,047) \cdot 6,7^2 \cdot 11,7^2} = 0,316 \text{ Ом.}$$

Індуктивність статора і ротора:

$$L_s \equiv L_r = \frac{1}{2\pi f_H I_H} \frac{(U_H / \sqrt{3})}{\left(\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi s_H / s_K \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,142 \cdot 50} \cdot \frac{(380 / \sqrt{3})}{11,7 \left(\sqrt{1 - 0,83^2} - 0,83 \cdot 0,047 / 0,262 \right)} = 0,146 \text{ Гн.}$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L_{1s} \equiv L_{1r} = \frac{1}{4\pi f_H} \sqrt{\left[(U_H / \sqrt{3}) / (i_K I_H) \right]^2 - (R_s + R_r)^2} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 3,142 \cdot 50} \sqrt{\left[(380 / \sqrt{3}) / (6,7 \cdot 11,7) \right]^2 - (0,841 + 0,316)^2} = 4,055 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

$$\text{де } i_K = \frac{I_K}{I_H} = 6,7.$$

Взаємодукція:

$$L_m = L_s - L_{1s} = 0,146 - 4,055 \cdot 10^{-3} = 0,141 \text{ Гн.}$$

Перераховуємо конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m} = 1 + \frac{4,055 \cdot 10^{-3}}{0,141 \cdot 10^{-3}} = 1,029 \approx 1,03$$

Збіг прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта досягнуто. Отже, розрахунок можна вважати прийнятним.

Для побудови механічної характеристики електродвигуна скористаємося спрощеною формулою залежності моменту від ковзання:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

В пакеті програм MathCAD можна записати наступні програмні операції:

$$s := 0.0001, 0.00015 \dots 1 \quad M(s) := \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

В результаті отримаємо графік механічної характеристики для електродвигуна АНР180S4 (рис. 3.1).

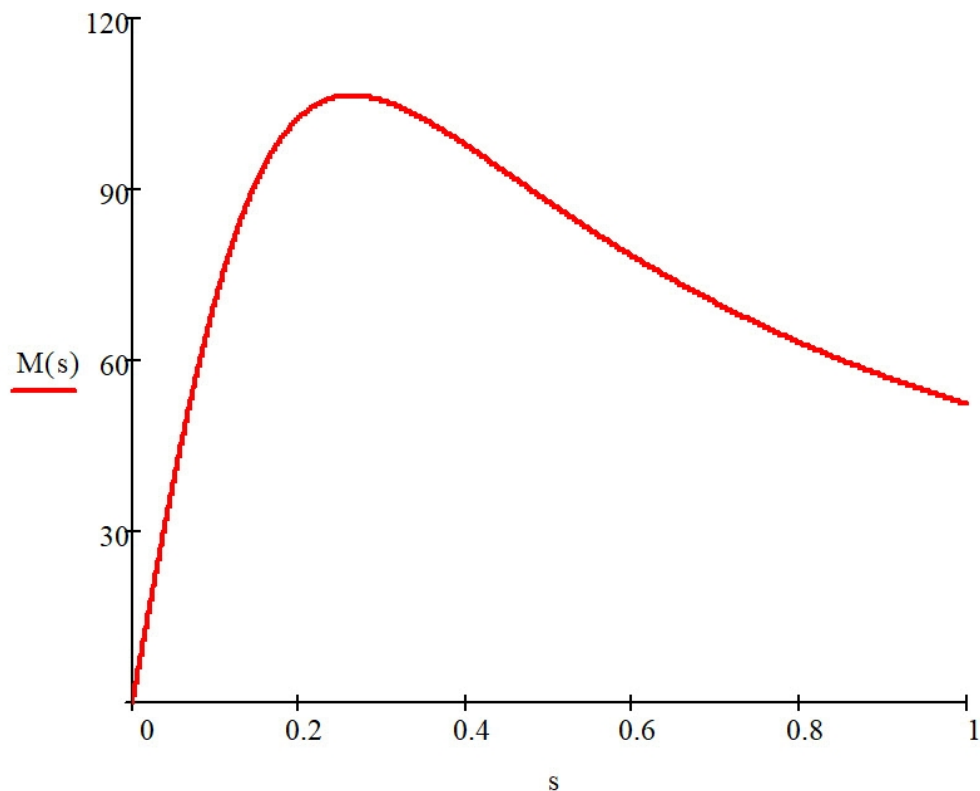


Рисунок 3.1 – Механічна характеристика приводного асинхронного двигуна 5A112M4 суднового компресора пускового повітря КВД-М

3.2 Вибір перетворювача частоти

Вибір перетворювача частоти повинен бути здійснений з урахуванням потужності обраного приводного асинхронного двигуна 5A112M4 (5 кВт) для суднового компресора пускового повітря КВД-М.

Серед великої різноманітності перетворювачів частоти добре себе зарекомендував перетворювач частоти АЕ серії V-81, який виробляється компанією EA-Technology.

Перетворювач частоти АЕ-V81 – це новий перетворювач, для керування стандартним асинхронним двигуном. Ідеально підходить як просте і економічне рішення для машинобудування та промисловості, з базовими вимогами до складності технологічного процесу.

Крім того є оптимальною пропозицією коли витрати на проектування і введення в експлуатацію, а так сама вартість використання, повинні залишитися на мінімально можливому рівні.

Технічні дані перетворювача частоти компанії EA-Technology серії V-81 приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані перетворювачів частоти АЕ-V81

Трифазне живлення: змінний струм 380В, 50/60Гц					
Модель	Потужність		Вхідний струм, А	Вихідний струм, А	Габарит
	кВ	к. с.			
АЕ-V81G-0R7T4B	0,75	1	4,3	2,5	1F4
АЕ-V81G-1R5T4B	1,5	2	5,2	3,7	1F4
АЕ-V81G-1R2T4B	2,2	3	6,0	5,1	1F4
АЕ-V81G-3R7T4B	3,7	5	10,5	8,5	2F4
АЕ-V81G-5R5T4B	5,5	7,5	15	13	2F4
АЕ-V81G-7R5T4B	7,5	10	20	16	3F4
АЕ-V81G-011T4B	11	15	27	25	3F4

Продовження таблиці 3.2 – Технічні дані перетворювачів частоти АЕ-V81

АЕ-V81G-015Т4В	15	20	37	32	3F4
АЕ-V81G-018Т4	18,5	25	42	38	4F4
АЕ-V81G-022Т4	22	30	49	45	4F4

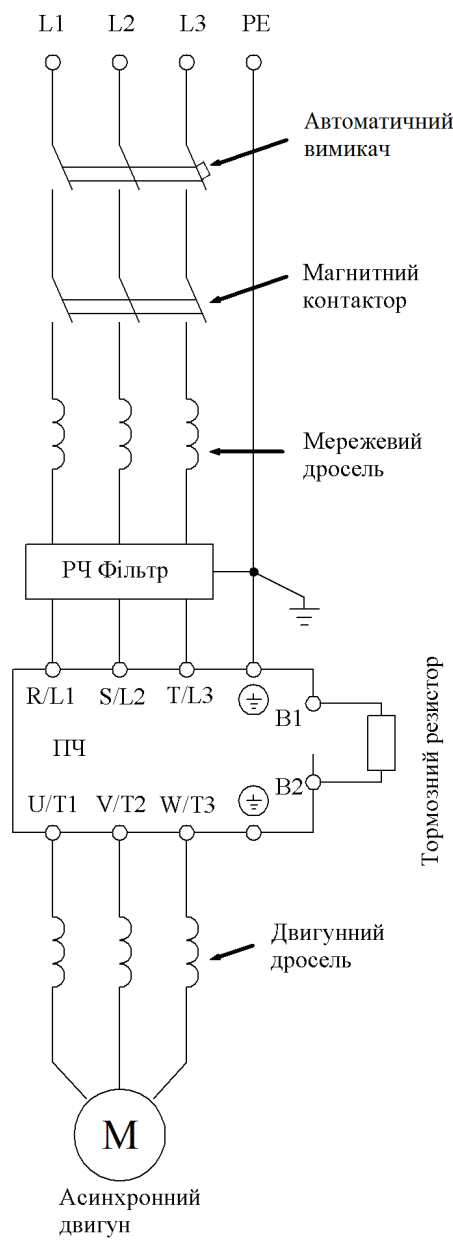


Рисунок 3.2 – Схема керування асинхронним двигуном за допомогою перетворювача частоти АЕ-V81

Перетворювачі частоти АЕ компанії EA-Technology серії V-81 призначені для керування швидкістю обертання трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,4 до 450 кВт з живленням від мережі змінного струму напругою 220...380 В і частотою 50/60 Гц. Моделі перетворювачів частоти АЕ серії V-81 спеціалізована для роботи з електродвигунами у складі насосних та вентиляційних установок.

Рішення про конфігурацію (рис. 3.2) обладнання або про застосування того чи іншого додаткового обладнання користувач приймає самостійно залежно від умов експлуатації, режиму роботи та інших експлуатаційних вимог.

Допускається заміна швидкодіючих запобіжників на автомати захисту з тепловим і електромагнітним розчеплювачем з кратністю спрацьовування 3 – 5 (клас В). У цьому випадку, рекомендується використання мережних реакторів (дроселів), встановлюваних перед введенням мережі в ПЧ. Реактор необхідний для обмеження перехідних струмів, що виникають при різкому підйомі мережевої напруги або розбалансі фаз.

Опис елементів, що використовувались на рис. 3.2, зведений в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Конфігурація електрообладнання яке встановлюється разом з АЕ-V81

Пристрій	Місце встановлення	Призначення
1	2	3
Автоматичний вимикач	Ввід мережевого живлення ПЧ	Захист ПЧ і підключеного обладнання від струмів перевантаження і КЗ
Контактор	Між ввідним автоматом і ПЧ	Керування силовим живленням ПЧ, аварійне вимкнення ПЧ

Продовження таблиці 3.3 – Конфігурація електрообладнання яке встановлюється разом з АЕ-V81

Мережевий дросель	На вході ПЧ	Зменшення перенапруги і гармонічних складових струму в мережі живлення. Обмеження лінійного струму.
Вхідний фільтр ЕМС	На вході ПЧ	Використовується для зменшення рівня радіоперешкод наведених перетворювачем частоти в мережі живлення . Потребує обов'язкового підключення до контуру заземлення. Застосовується при підвищених вимогах до ЕМС
Дросель ланцюга постійного струму	Поряд з ПЧ, підключається до відповідних клем ПЧ	Зменшення гармонічних складових струму на стороні живлячої напруги. Для деяких габаритів входить в базову комплекцію, виконаний в корпусі ПЧ і не потребує підключення.
Дросель двигуна	На виході ПЧ	Зменшення перенапруги і гармонічних складових струму на двигуні. Обмеження струму двигуна. Установка обов'язкова при довжині кабелю двигуна більше 100 метрів

Мережний дросель захищає перетворювач частоти при коротких замиканнях на його виході, обмежуючи швидкість наростання струму

короткого замикання і сталий струм короткого замикання, сприяючи успішному спрацюванню струмового захисту перетворювача частоти.

З огляду на вищезазначене, з урахуванням потужності обраного приводного асинхронного двигуна 5A112M4 (потужність 5 кВт, номінальний струм 11,7 А) для суднового компресора пускового повітря КВД-М обираємо перетворювач частоти АЕ-V81 модель АЕ-V81G-7R5T4В потужністю 7,5 кВт і номінальним вхідним струмом 20 А.

3.3 Вибір гальмівного резистора

Вибір гальмівного резистора повинен відбуватися в залежності від параметрів двигуна, його навантаження, інерції привода і типу механізму. Чим вища маса рухомої частини і привода, чим менше час гальмування, чим частіше потребується гальмування привода, тим вище має бути потужність тормозного резистора і тим менше має бути його опір. При гальмуванні кінетична енергія привода розсіюється у виді тепла на тормозному резисторі.

Параметри гальмівних резисторів для 50 % моменту гальмування наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Рекомендовані моделі гальмівних резисторів для перетворювачів частоти серії V81G

№	Модель ПЧ	Потужність ПЧ (кВт)	Модель гальмівного резистора	Розсіяна потужність (Вт)	Опір резистора (Ом)
1	V81G-0R7S2B	0,75	120W200R	120	200
2	V81G-1R5S2B	1,5	300W100R	300	100
3	V81G-2R2S2B	2,2	300W70R	300	70
4	V81G-0R7T4B	0,75	120W750R	120	750
5	V81G-1R5T4B	1,5	300W400R	300	400

Продовження таблиці 3.4 – Рекомендовані моделі гальмівних резисторів для перетворювачів частоти серії V81G

6	V81G-2R2T4B	2,2	250W300R	250	300
7	V81G-3R7T4B	3,7	500W150R	500	150
8	V81G-5R5T4B	5,5	500W100R	500	100
9	V81G-7R5T4B	7,5	800W75R	800	75
10	V81G-011T4B	11	1000W50R	1000	50
11	V81G-015T4B	15	1500W40R	1500	40
12	V81G-018T4	18,5	5000W30R	5000	30
13	V81G-022T4	22	5000W30R	5000	30
14	V81G-030T4	30	6000W20R	6000	20
15	V81G-037T4	37	9600W16R	9600	16

Для обраного перетворювача частоти модель AE-V81G-7R5T4B гальмівний резистор не входить в комплект отже виходячи з табл. 3.4 обираємо гальмівний резистор моделі 800W75R з розсіювальною потужністю 800 Вт та опором 100 Ом. Гальмівний модуль повинен бути встановлений на відстані не менше 10 см від перетворювача частоти для виключення їх взаємовпливу.

3.4 Вибір автоматичного вимикача, контактора, мережного дроселя та рекомендованого перерізу проводів

Зовнішні впливи, можуть викликати неправильне функціонування перетворювача, а випромінюються перетворювачем перешкоди, можуть викликати неправильне функціонування периферійного обладнання. Перетворювач спроектований так, щоб перешкоди не впливали на його роботу, але він є електронним пристроєм і керованим слабкострумовими

сигналами, тому необхідно вживати заходів з придушення перешкод. Крім того, перетворювач сам є джерелом електромагнітних завад. Якщо вони впливають на периферійне устаткування, то необхідно вживати заходів щодо їх придушення. Рекомендовані фільтри електромагнітних перешкод наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Рекомендоване додаткове обладнання

Модель ПЧ	Автоматичний вимикач (MCCB) (А)	Січення силового кабелю (мм ²)	Контактор (А)
V81G-0R7T4B	10	1,5	10
V81G-1R5T4B	16	1,5	10
V81G-2R2T4B	16	2,5	10
V81G-3R7T4B	25	2,5	16
V81G-5R5T4B	25	4	16
V81G-7R5T4B	40	4	25
V81G-011T4B	63	6	32
V81G-015T4B	63	6	50
V81G-018T4	100	10	63
V81G-022T4	100	10	80
V81G-030T4	125	16	95

Для перетворювача частоти серії AE-V81G-7R5T4B обираємо автоматичний вимикач MCCB з допустимим струмом 40 А, контактор з допустимим струмом 25 А.

Вибір і прокладання моторного кабелю: для перетворювача частоти серії AE-V81G-7R5T4B виходячи з табл. 3.5 ми обираємо січення силового кабелю 4 мм².

Неправильний вибір і прокладка моторного кабелю будуть знижувати ефективність використання частотного перетворювача. При виборі та монтажу моторного кабелю повинні бути дотримані такі заходи:

1. Використовується екранований кабель (ще краще з подвійним екрануванням);
2. Екран моторного кабелю повинен бути заземлений з обох кінців провідниками з мінімальною довжиною і максимальної контактної поверхнею (рис. 3.3);
3. Видаляється фарба та зачищаються контактні поверхні підключення заземлення.

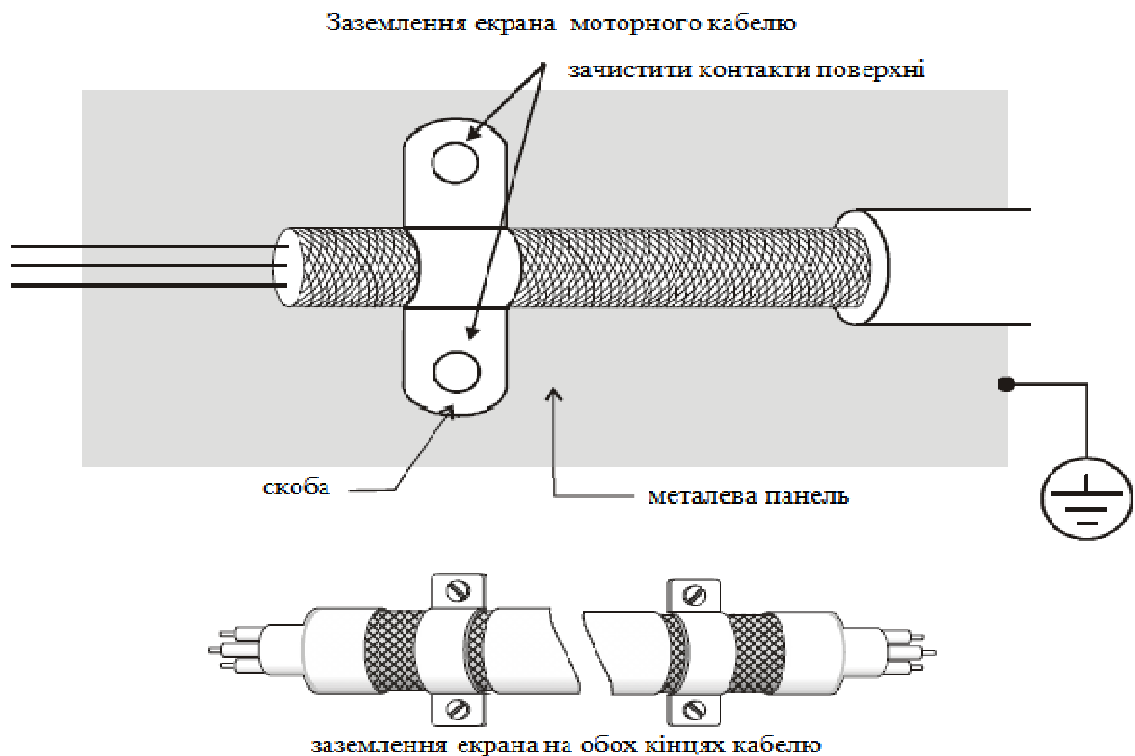


Рисунок 3.3 – Монтажна схема моторного кабелю

При використанні автоматичного вимикача для захисту перетворювача частоти по входу рекомендується вибрати автомати захисту з тепловим і електромагнітним розчеплювачем з кратністю спрацьовування 3-5 (клас В) і номінальним струмом, зазначеним вище в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Рекомендовані параметри дроселів

№	Модель ПЧ	Потужність (кВт)	Модель дроселя	Струм (А)	Індуктивність (Гн)
1	V81G-3R7T4B	3,7	SG-IC-10A	10	2,00
2	V81G-5R5T4B	5,5	SG-IC-15A	15	1,00
3	V81G-7R5T4B	7,5	SG-IC-20A	20	0,70
4	V81G-011T4B	11	SG-IC-30A	30	0,48
5	V81G-015T4B	15	SG-IC-40A	40	0,36
6	V81G-018T4	18,5	SG-IC-50A	50	0,28
7	V81G-022T4	22	SG-IC-60A	60	0,24
8	V81G-030T4	30	SG-IC-80A	80	0,19
9	V81G-037T4	37	SG-IC-90A	90	0,19
10	V81G-045T4	45	SG-IC-120A	120	0,12

За рекомендованими параметрами автоматичних вимикачів для ПЧ модель AE-V81G-7R5T4B обирається струм автоматичного відключення 20 А.

Для перетворювача частоти модель AE-V81G-7R5T4B за даними табл. 3.6 обирається мережевий дросель модель SG-IC-20A зі струмом 20 А, індуктивністю 0,7 Гн.

В якості мережевих і моторних дроселів можна застосовувати дроселі, призначені для інших моделей ПЧ, вироблені іншими виробниками з відмінними параметрами струму і індуктивності.

Перетворювач частоти (ПЧ) повинен бути захищений швидкодіючими плавкими запобіжниками або автоматом захисту з електромагнітним розчеплювачем з кратністю спрацьовування 3-5 (клас В).

Схема підключення перетворювача частоти AE-V81G-7R5T4B показана на рис. 3.4.

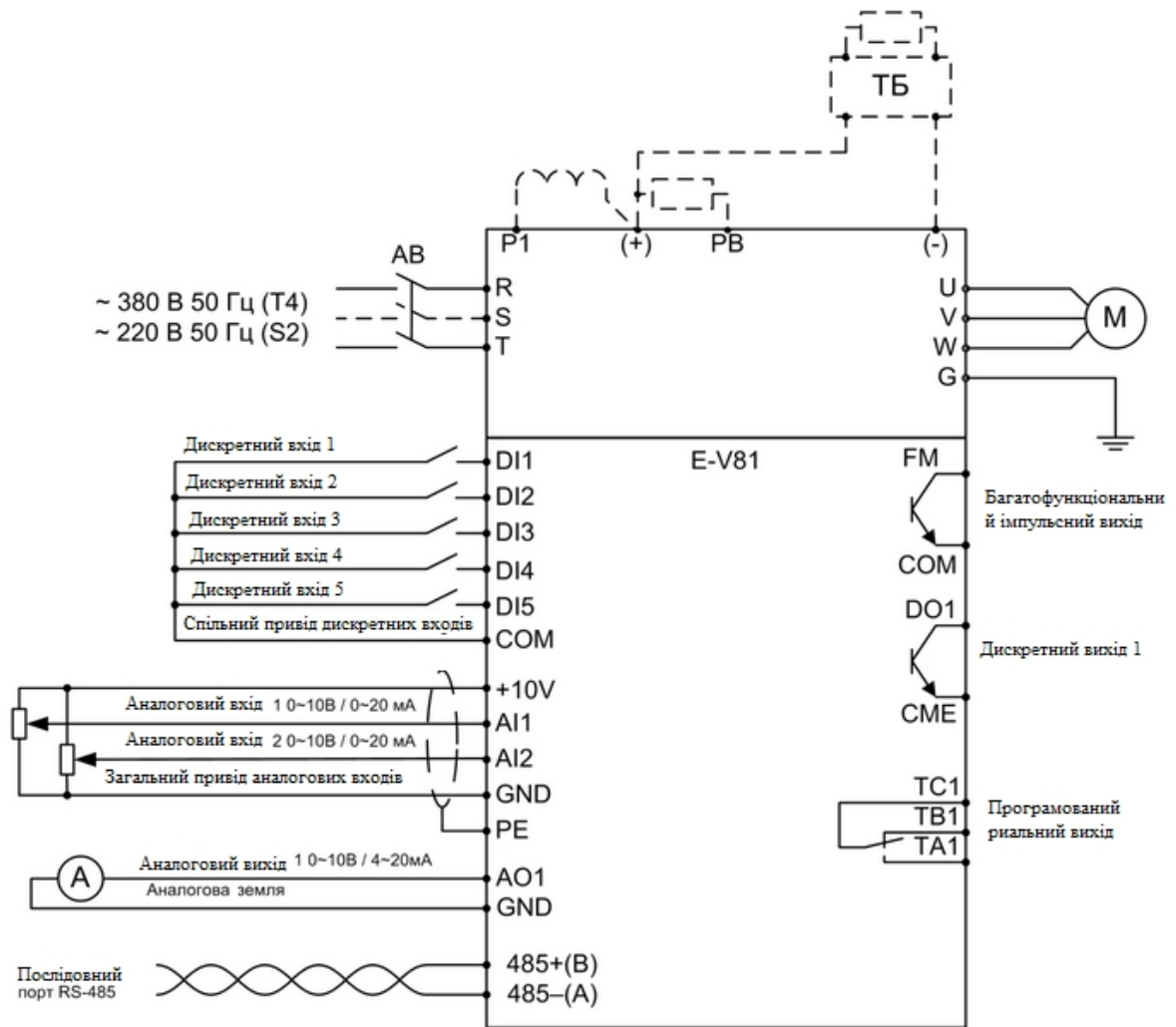


Рисунок 3.4 – Схема підключення перетворювача частоти AE-V81G-7R5T4B

3.5 Вибір пульта керування перетворювача частоти

Панель керування перетворювача частоти AE-V81G-7R5T4B показана на рис. 3.5. Опис показників дисплею виконаний в табл. 3.7.

Пульт керування перетворювача частоти AE-V81G-7R5T4B має зручний інтерфейс та дозволяє в режимі реального часу відображати поточні параметри роботи електропривода зерносушильного агрегату, а також програмувати мікроконтролер перетворювача.



Рисунок 3.5 – Опис пульта керування
перетворювача частоти AE-V81G-7R5T4B

Таблиця 3.7 – Опис показників дисплея

Позначення	Опис
FWD/REV	Індикатор напрямку обертання світиться — обертання вперед не світиться — обертання назад
RUN	Індикатор роботи світиться — привід працює не світиться — привід виключено
LOCAL/REMO	Індикатор каналу керування світиться — керування з клем ПЧ не світиться — керування з панелі ПЧ блимає — дистанційне керування (шиною зв'язку)

Продовження таблиці 3.7 – Опис показників дисплея

TUNE/TC	Індикатор помилки авто-налаштування світиться — режим керування моментом повільно блимає — режим налаштування швидко блимає — ПЧ в стані помилки
LOCAL/REMOT	Індикатор каналу керування світиться — керування з клем ПЧ не світиться — керування з панелі ПЧ блимає — дистанційне керування (шиною зв'язку)
TUNE/TC	Індикатор помилки авто-налаштування світиться — режим керування моментом повільно блимає — режим налаштування швидко блимає — ПЧ в стані помилки
Hz - A - V	Індикатор одиниць виміру відображуваного параметру Hz — частота, Гц; A — струм, А; V — напруга, В RPM (Hz+A) — кутова швидкість, об/хв. % — (A+V) — відсоток
Дисплей	Цифровий дисплей 5-ти розрядний цифровий дисплей індикації заданої частоти, дійсної частоти, помилок, відображення налаштування параметрів ПЧ і т.д.
PRG	Клавіша програмування натиск дозволяє вийти в меню програмування ПЧ
>>/SHIFT	Клавіша «SHIFT» в режимі редагування перехід до наступного символу. в інших режимах — зміна відображуваних параметрів
Λ	Клавіша «Більше» — зменшення значення
V	Клавіша «Менше» — зменшення значення

Продовження таблиці 3.7 – Опис показників дисплея

MFK/REV	Багатофункціональна клавіша параметри клавіши задаються в пункті меню P7.01.
Потенціометр	Потенціометр-регулятор частоти двигуна P0.03 = 4 для регулювання частоти потенціометра
RUN	Клавіша «RUN» запуск привода в режимі керування з панелі ПЧ
STOP/RESET	Клавіша «Stop/Reset» при роботі приводу — клавіша зупинки ПЧ, в стані помилки – клавіша «скидання». Параметри клавіши задаються в пункті P7.02.

3.6 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода суднового компресора пускового повітря

Скалярний принцип частотного керування є найпоширенішим в асинхронному електроприводі. Йому властива технічна простота виміру й регулювання змінних асинхронного двигуна, а також можливість побудови розімкнутих систем керування швидкістю.

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема подібної системи (рис. 3.6) крім асинхронного двигуна й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р и датчики Д змінних електропривода.

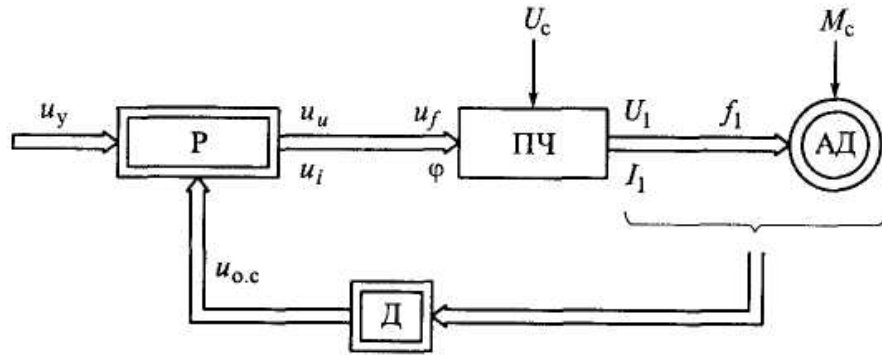


Рисунок 3.6 – Функціональна схема замкнутої системи керування типу ПЧ-АД зі скалярним керуванням

Система частотно-керованого електропривода нелінійна, тому аналітичний розрахунок регуляторів може бути виконаний досить наближено.

На рис. 3.7 зображено структурну схему лінеаризованої системи, функціональна схема якої приведена на рис. 2.8.

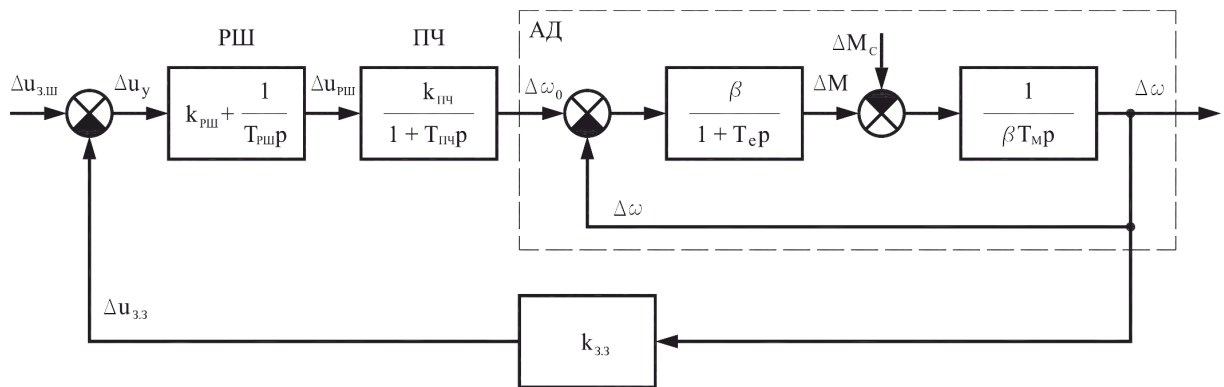


Рисунок 3.7 – Спрощена структурна схема системи ПЧ –АД зі зворотним зв'язком за швидкістю

При роботі асинхронного двигуна на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$. На схемі прийняті наступні позначення:

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД :

$$\beta = \frac{2M_{\kappa}}{\omega_{0\text{ннo}} S_{\kappa}};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 106,511}{314,159 \cdot 0,262} = 5,422.$$

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу електрокіл статора та ротора АД, визначена по формулі:

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{сел.но}} S_{\kappa}},$$

де – $\omega_{0\text{ел.ном}}$ кутова швидкість електромагнітного поля асинхронного двигуна при його номінальній частоті живлення $f_{1\text{ннo}} = 50\text{Гц}$ ($\omega_{0\text{сел.но}} = 2\pi f_{1\text{ннo}} = 2 \cdot 3,142 \cdot 50 = 314,159 \text{ c}^{-1}$).

$$T_e = \frac{1}{314,159 \cdot 0,262} = 0,012 \text{ c}.$$

Для асинхронних двигунів загальнопромислового виконання $s=0,05\dots0,5$ (менші значення характерні для потужних двигунів), $T_e=(0,006\dots0,06) \text{ c}$;

T_m – електромеханічна постійна часу двигуна

$$T_m = \frac{J}{k_{\omega}} = \frac{J}{\beta},$$

де J – зведений момент інерції двигуна.

$$T_m = \frac{0,02}{5,422} = 3,689 \cdot 10^{-3} \text{ c}.$$

Передавальний коефіцієнт перетворювача частоти (ПЧ) $k_{\text{пч}}$:

$$k_{\text{пч}} = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta u_{\text{рш}}} = \frac{2\pi\Delta f_1}{p_{\text{п}}\Delta u_{\text{рш}}},$$

де $p_{\text{п}} = 2$ – кількість пар полюсів двигуна (синхронна частота ротора 1500 об/хв).

При роботі асинхронного двигуна в зоні частот $f_1 \leq f_{1\text{нн}} = 50 \text{ Гц}$ і номінальному сигналі керування перетворювачем $u_{\text{у.ПЧном}}$ співвідношення

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta u_{\text{рш}}} = \frac{f_1}{u_{\text{у.ПЧном}}};$$

$$k_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,708.$$

$T_{\text{пч}}$ – постійна часу ланцюга керування ПЧ, що при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ПЧ (2...50 кГц) не перевищує 0,001 с.

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{рш}}}{\Delta u_{\text{у}}} = k_{\text{рш}} + \frac{1}{T_{\text{рш}} p} = \frac{k_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1}{T_{\text{рш}} p}.$$

Передавальна функція ланцюга зворотного зв'язка за швидкістю двигуна:

$$W_{3.3}(p) = \frac{\Delta u_{3.3}}{\Delta \omega} = k_{3.3}.$$

При номінальному сигналі керування електроприводом, рівному $u_{3.\text{ном}}$, і відповідній йому номінальній швидкості асинхронного двигуна:

$$k_{3.3} = \frac{u_{3.\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}.$$

$$k_{3.3} = \frac{1}{149,749} = 6,678 \cdot 10^{-3}.$$

У відповідності зі структурною схемою асинхронного двигуна його результуюча передавальна функція стосовно відхилення $\Delta \omega_0$:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} = \frac{1}{T_{\text{е}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1}.$$

При $T_{\text{м}} \geq 4T_{\text{е}}$ передавальна функція асинхронного двигуна (коливальна ланка) може бути представлена у вигляді двох аперіодичних ланок:

$$W_d(p) = \frac{1}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)},$$

де

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right).$$

Приймаємо $T_m = 4T_e = 4 \cdot 0,012 = 0,049$, тоді

$$T_{01} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,012} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,012}{0,049}} \right)} = 0,024 \text{ с};$$

$$T_{02} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,012} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,012}{0,049}} \right)} = 0,024 \text{ с}.$$

Якщо віднести постійні T_{02} і $T_{пч}$ до малих постійних, що не компенсуються і в якості оцінки їхнього впливу прийняти

$$T_\mu = T_{02} + T_{пч} = 0,024 + 0,001 = 0,025 \text{ с},$$

то при настроюванні електропривода на модульний оптимум постійна інтегрування й коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначаються наступним чином:

$$T_{рш} = k_{3.3} k_{пч} a_\mu T_\mu;$$

$$T_{рш} = 6,678 \cdot 10^{-3} \cdot 15,708 \cdot 1 \cdot 0,025 = 2,65 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$k_{рш} = \frac{T_{01}}{T_{рш}}.$$

$$k_{рш} = \frac{0,024}{2,65 \cdot 10^{-3}} = 9,156.$$

3.7 Побудова перехідних процесів за швидкістю

Вивчення електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні вентилятора має теоретичне і практичне значення, оскільки виключення з розгляду їх впливу змінює дійсне представлення про характер перехідних процесів в асинхронному електроприводі. Дослідження показують, що максимальні значення перехідного моменту можуть суттєво перевищувати номінальний момент двигуна при пуску в 2-4 рази, при реверсуванні в 8-15 разів, що слід враховувати при аналізі властивостей конкретного електроприводу.

MATLAB – це високопродуктивна мова для технічних розрахунків. Вона містить у собі обчислення, візуалізацію і програмування у зручному вигляді, де задачі й розв’язки виражаються у формі, близькій до математичної. Типовим використанням MATLAB є математичні обчислення; створення алгоритмів; моделювання; аналіз даних, дослідження і візуалізація; наукова й інженерна графіка; розробка додатків, зокрема створення графічного інтерфейсу.

Simulink – це інтерактивна система для моделювання динамічних систем. Вона являє собою середовище, що дозволяє моделювати процес з переміщенням блоків та їх маніпуляцією для побудови перехідних процесів за структурною схемою. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними, багатомірними системами.

На рис. 3.8 представлено схему для моделювання у програмі Simulink, за якою побудовано графік перехідного процесу за швидкістю на рис. 3.9. Цей перехідний процес за швидкістю побудований на основі розрахованих постійних часу та коефіцієнтів структурної схеми.

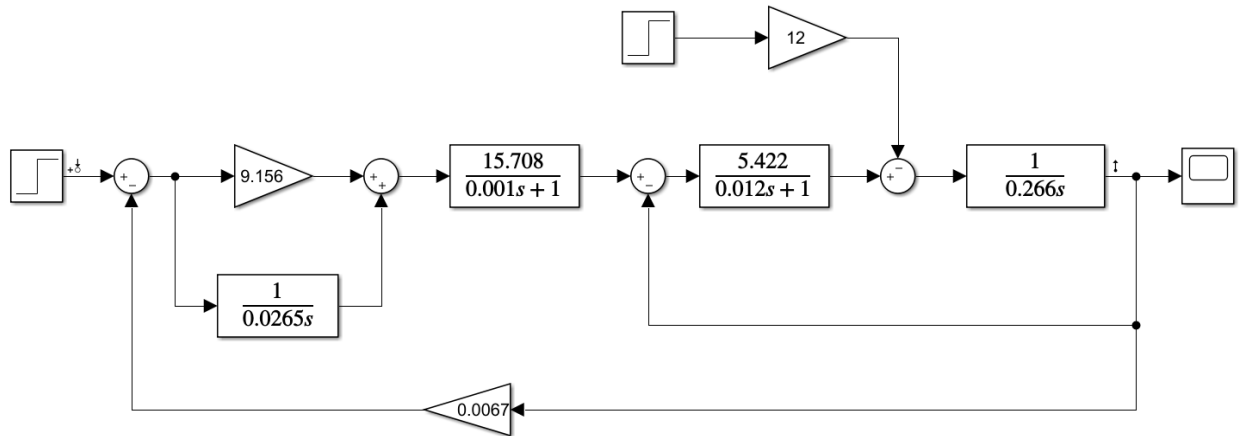


Рисунок 3.8 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш}=9,156$; $T_{рш}=0,027$ с

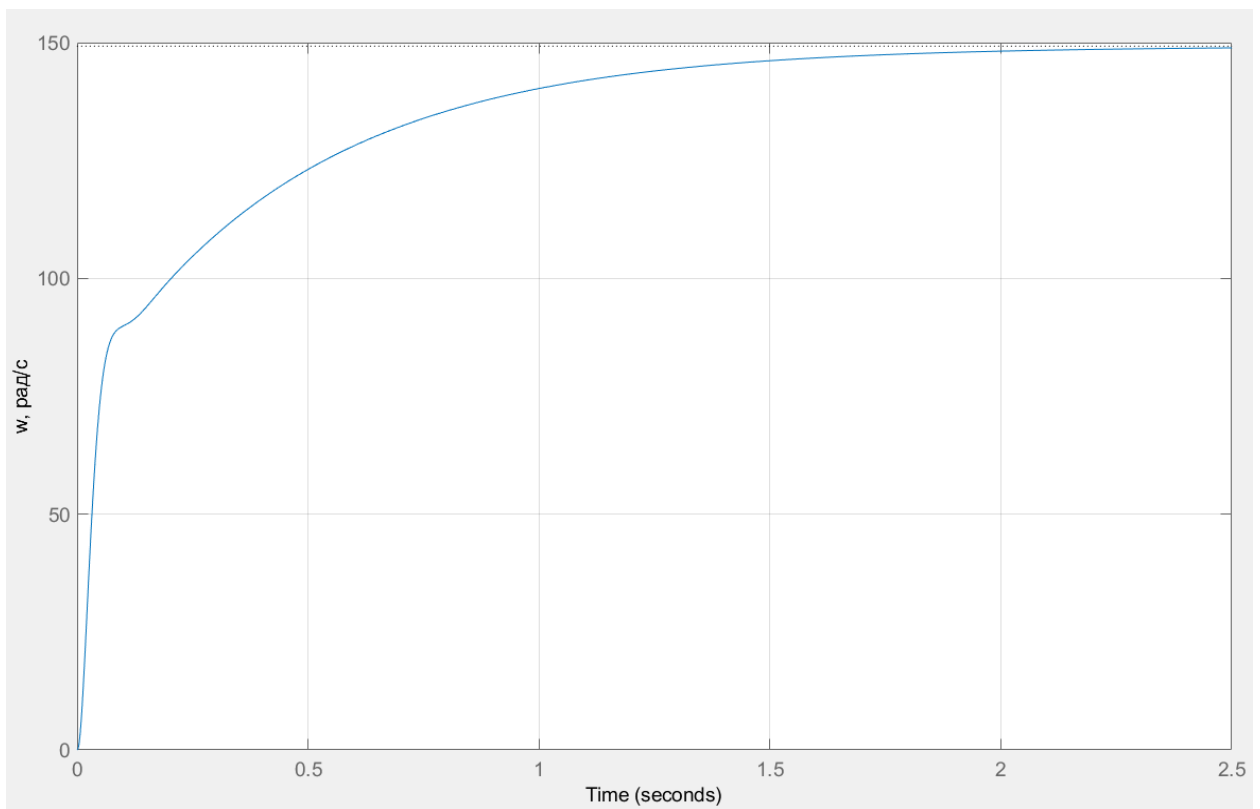


Рисунок 3.9 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=9,156$; $T_{рш}=0,027$ с

Перехідний процес за швидкістю (рис. 3.9) побудовано при наступних параметрах ПІ-регулятора швидкості: при $k_{рш}=9,156$; $T_{рш}=0,027$ с. З даного графіка видно, що час перехідного процесу становить $t_{пш}=2,5$ с, а перерегулювання $\sigma=0$ % (аперіодичний перехідний процес).

Побудуємо ще один графік перехідного процесу при зменшеному в 10 разів коефіцієнта передачі пропорційної частини ПІ-регулятора швидкості $k_{рш}$. На рис. 3.10 представлено схему для моделювання у програмі Simulink, а на рис. 3.11 відповідний їй графік перехідного процесу за швидкістю при $k_{рш}=0,916$; $T_{рш}=0,027$ с.

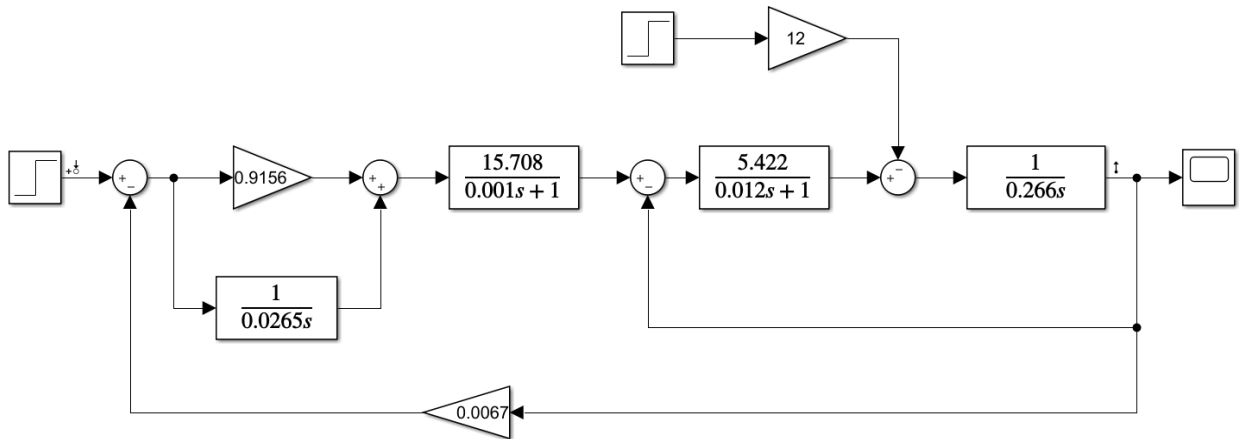


Рисунок 3.10 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш}=0,916$; $T_{рш}=0,027$ с

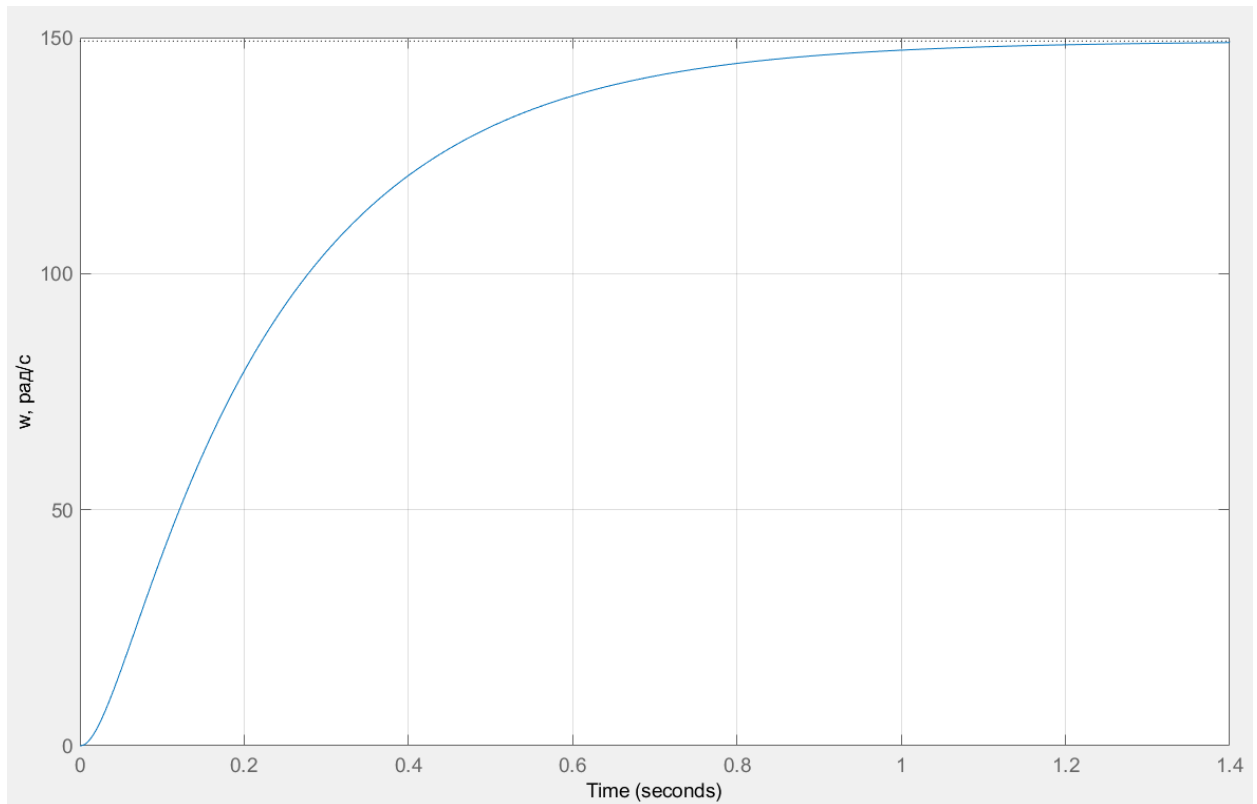


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=0,916$; $T_{рш}=0,027$ с

Перехідний процес (рис. 3.11) побудовано при наступних параметрах ПІ-регулятора швидкості: при $k_{рш} = 0,916$; $T_{рш} = 0,027$ с. З даного графіка видно, що час перехідного процесу зменшився і становить $t_{пш} = 1,4$ с, перерегулювання становить $\sigma = 0\%$ (апериодичний перехідний процес).

Тепер збільшимо в 2 рази коефіцієнт передачі пропорційної частини ПІ-регулятора швидкості $k_{рш} = 18,312$ відносно початково розрахованого значення $k_{рш} = 0,916$ (рис. 3.12).

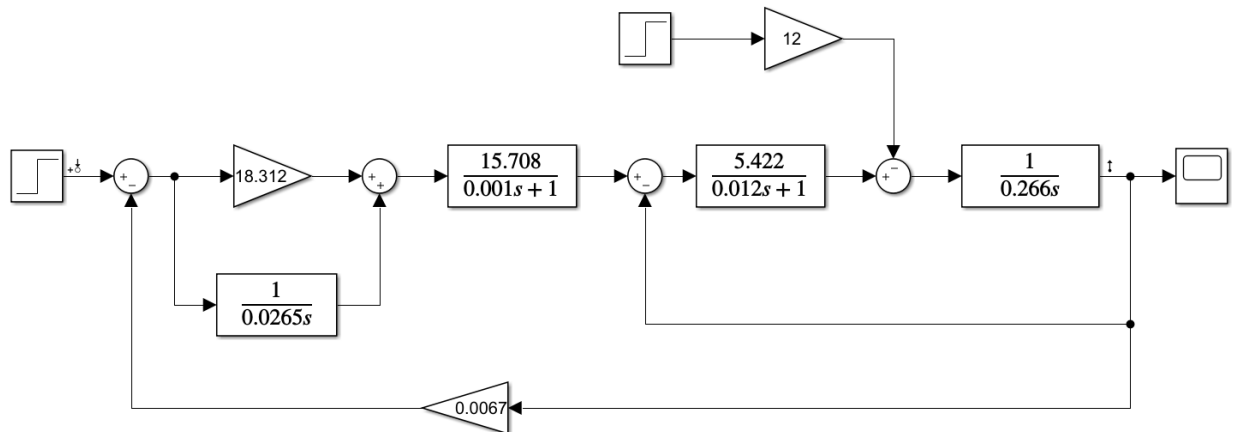


Рисунок 3.12 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш} = 18,312$; $T_{рш} = 0,027$ с

Результати моделювання перехідного процесу за швидкістю за імітаційною моделлю на рис. 3.12 при коефіцієнті $k_{рш} = 18,312$ і постійній часу $T_{рш} = 0,027$ с зображено на рис. 3.13. Час перехідного процесу за швидкістю (рис. 3.13) збільшився і становить $t_{пш} = 4$ с, перерегулювання $\sigma = 0\%$ (апериодичний перехідний процес).

На схемах імітаційних моделей (рис. 3.8, рис. 3.10, рис. 3.12) величину статичного моменту M_c обрано з розрахунку 33 % від номінального моменту $M_{ном}$ приводного асинхронного двигуна:

$$M_c = M_{ном} = 0,33 \cdot 36,728 \approx 12 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

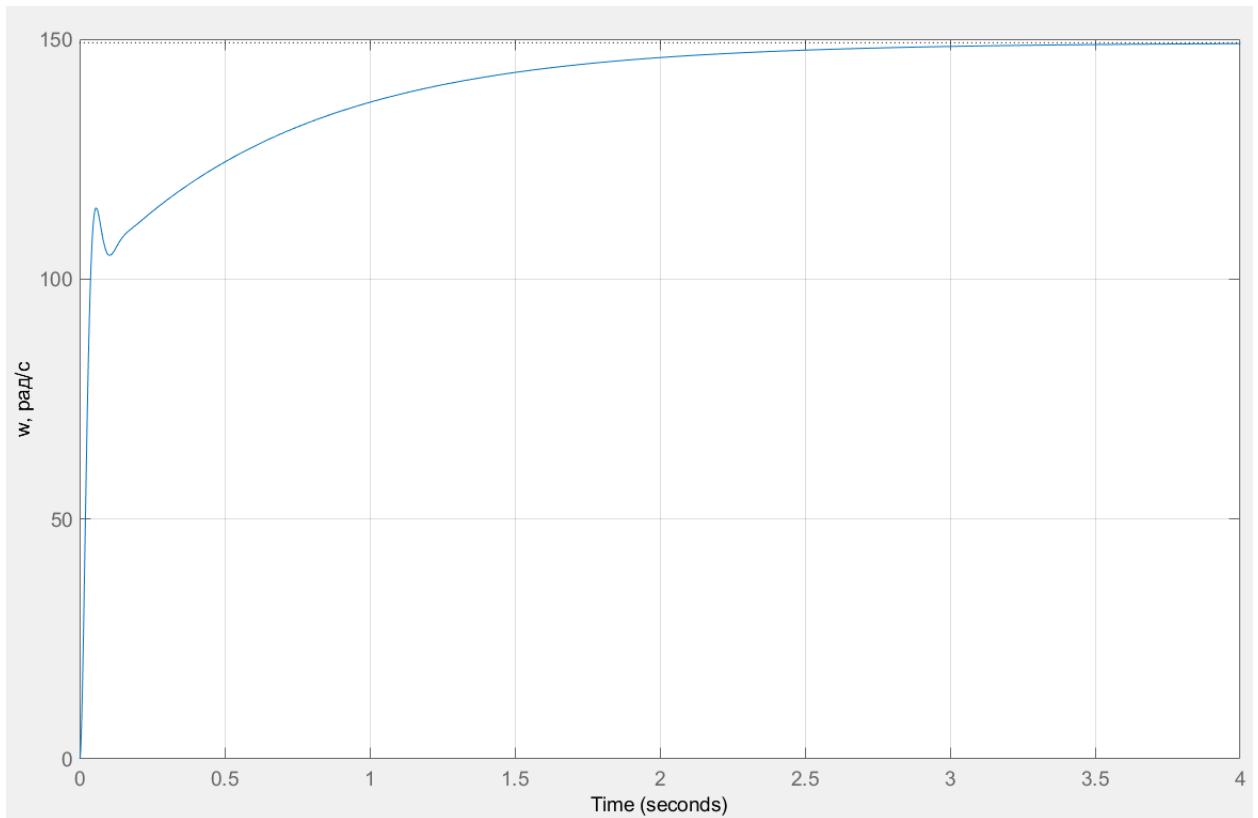


Рисунок 3.13 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=18,312$; $T_{рш}=0,027$ с

Порівнюючи три графіки на рис. 3.9, рис. 3.11 і рис. 3.13 обираємо найбільш прийнятні результати перехідного процесу за швидкістю на рис. 3.11 при $k_{рш}=0,916$; $T_{рш}=0,027$ с.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ПИТАНЬ ПО ЗАПОБІГАННЮ ЗАБРУДНЕННЯ З СУДЕН ЗА КОНВЕНЦІЄЮ MARPOL-73/78

4.1 Загальний набір правил міжнародної конвенції MARPOL-73/78

До Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден 1973 року (зі змінами 17.02.1978 р.) Україна приєдналась 21.09.1993 р., датою набуття чинності для України є 25.01.1994 р.

Всі сторони-підписанти-підписанти даної Конвенції, усвідомлюючи необхідність охорони навколишнього середовища взагалі і морського середовища, зокрема, визнаючи, що навмисне, випадкове скидання або скидання по недбалості з суден нафти та інших шкідливих речовин є серйозним джерелом забруднення, визнаючи також значення Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення моря нафтою 1954 р. як першого багатостороннього акту, укладеного з першочерговою метою захисту навколишнього середовища, та високо оцінюючи значний внесок, який ця Конвенція зробила у справу охорони морів і узбережжя від забруднення, бажаючи досягти повного припинення навмисного забруднення морського середовища нафтою та іншими шкідливими речовинами і звести до мінімуму випадкові скидання таких речовин, вважаючи, що кращим способом досягнення цієї мети є встановлення правил, що не обмежуються запобіганням забруднення тільки нафтою, а мають всеосяжний характер погодили цілий ряд правил [18].

Сторони-підписанти Конвенції зобов'язуються здійснювати положення цієї Конвенції і тих додатків до неї, якими вони зв'язані, з метою запобігання забруднення морського середовища шкідливими речовинами або стоками, що містять такі речовини, шляхом їх скидання з порушенням положень Конвенції.

Слід зазначити, що будь-яке посилання на цю Конвенцію, якщо спеціально не передбачено інше, означає одночасно посилання на її протоколи і додатки.

Для цілей цієї Конвенції, якщо спеціально не передбачено інше є основні визначення:

– "Правила" означають правила, що містяться в додатках до цієї Конвенції.

– "Шкідлива речовина" означає будь-яку речовину, яка при попаданні в море здатна створити небезпеку для здоров'я людей, завдати шкоди живим ресурсам, морській флорі і фауні, погіршити умови відпочинку або перешкодити іншим видам правомірного використання моря, і включає будь-яку речовину, що підлягає контролю відповідно до цієї Конвенції.

– "Скидання" стосовно шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини, означає будь-яке скидання з судна, якими б причинами воно не викликалося, і включає будь-який витік, видалення, розлив, протікання, відкачку, виділення або спорожнювання.

"Скидання" не включає:

– скидання в значенні, передбаченому Конвенцією по запобіганню забруднення моря викидами відходів та інших матеріалів, укладеною в Лондоні 13.11.1972 р.;

– викиду шкідливих речовин, що відбувається безпосередньо внаслідок розвідки, розробки і пов'язаних з ними процесів обробки в морі мінеральних ресурсів морського дна;

– скидання шкідливих речовин для проведення правомірних наукових досліджень з метою боротьби з забрудненням або контролю над ним.

– "Судно" означає експлуатоване в морському середовищі судно будь-якого типу і включає судна на підводних крилах, судна на повітряній

подушці, підводні судна, плавучі засоби, а також стаціонарні або плавучі платформи.

– "Адміністрація" означає уряд держави, за уповноваженням якого експлуатується судно. Відносно судна, що має право плавання під прапором будь-якої держави, адміністрацією є уряд такої держави.

Щодо стаціонарних або плавучих платформ, зайнятих розвідкою і розробкою поверхні і надр морського дна, що прилягає до берега, над яким прибережна держава здійснює суверенні права в цілях розвідки і розробки їхніх природних багатств, адміністрацією є уряд відповідної прибережної держави.

– "Інцидент" означає подію, що спричинила або може спричинити скидання в море шкідливої речовини або стоків, що містять таку речовину.

– "Організація" означає міжурядову морську консультативну організацію.

Ця Конвенція застосовується до суден, що мають право плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції і до суден, що не мають права плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції, але експлуатованих під керуванням такої сторони-підписанта. Ніщо в статті «застосування» Конвенції не повинне тлумачитися як обмеження або розширення суверенних прав сторін-підписантів на поверхню і надра морського дна, що прилягає до їхніх берегів, здійснюваних з метою розвідки і розробки їхніх природних багатств згідно з міжнародним правом. Ця Конвенція не застосовується до будь-яких військових кораблів, військово-допоміжних суден або інших суден, що належать державі або експлуатуються нею і використовуються нині винятково для урядової некомерційної служби. Однак кожна сторона-підписант шляхом вживання відповідних заходів, що не завдають збитку експлуатації або експлуатаційним можливостям таких кораблів і суден, що належать їй або експлуатуються нею, повинна

забезпечити, щоб ці кораблі і судна діяли, наскільки це доцільно і практично можливо, таким чином, який відповідає цій Конвенції.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, незалежно від місця його здійснення, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються законодавством адміністрації відповідного судна. Якщо адміністрація одержить інформацію про таке порушення і переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування якнайшвидше згідно зі своїм законодавством.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, вчинене у межах юрисдикції сторони-підписанта Конвенції, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються законодавством цієї сторони-підписанта. У випадку здійснення такого порушення ця сторона-підписант на вибір:

- дає розпорядження про порушення переслідування відповідно до свого законодавства;
- надсилає адміністрації судна таку інформацію і такі докази на підтвердження факту порушення, які є в її розпорядженні.

У випадку, коли інформація або докази відносно порушення судном цієї Конвенції надсилаються адміністрації такого судна, ця адміністрація без зволікання інформує про вжиті нею заходи сторону, що надіслала їй інформацію або докази, і організацію.

Санкції, передбачені законодавством сторін, повинні бути достатньо суворими для припинення порушень цієї Конвенції та однаково суворими незалежно від місця їхнього здійснення.

Статтею 4 Конвенції визначаються свідоцтва і спеціальні правила інспектування суден:

1. З урахуванням положень пункту 2 цієї статті свідоцтво, видане за уповноваженням сторони Конвенції відповідно до положень правил, приймається іншими сторонами-підписантами і розглядається для будь-яких

передбачених цією Конвенцією цілей як таке, яке має таку ж силу, як і видане ними свідоцтво.

2. Судно, яке зобов'язане мати свідоцтво згідно з положеннями правил, під час перебування в портах або віддалених від берега терміналах, що знаходяться під юрисдикцією якої-небудь сторони-підписанта, підлягає інспектуванню, яке здійснюється посадовими особами, належним чином уповноваженими цією стороною. Будь-яке таке інспектування обмежується лише перевіркою наявності на судні дійсного свідоцтва, якщо в цієї сторони-підписанта не буде очевидних підстав думати, що стан судна або його устаткування значною мірою не відповідає зазначеним у свідоцтві даним. У цьому випадку або у випадку, якщо судно не має дійсного свідоцтва, сторона-підписант, що здійснює інспектування, вживає заходів, що забезпечують невихід у море такого судна доти, поки воно не зможе вийти в море, не представляючи надмірної загрози для морського середовища. Однак така сторона-підписант може дозволити судну залишити порт або віддалений від берега термінал для прямування на найближчу підходящу судноремонтну верф.

3. Якщо сторона-підписант відмовляє іноземному судну в заходженні в порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, або вживає які-небудь заходи проти такого судна на підставі того, що це судно не відповідає положенням цієї Конвенції, така сторона-підписант негайно інформує консула або дипломатичного представника сторони-підписанти, під прапором якої судно має право плавання, або, якщо це не можливо, – адміністрацію такого судна. Перш ніж відмовити судну в заходженні або вжити такі заходи, сторона-підписант може провести консультації з адміністрацією цього судна. Інформація направляється адміністрації також у випадку, коли судно не має дійсного свідоцтва відповідно до положень правил.

Сторони застосовують вимоги цієї Конвенції до суден держави, що не є

сторонами-підписантами Конвенції, оскільки це необхідно, щоб для таких суден не створювалися більш сприятливі умови.

Статтею 6 Конвенції визначаються виявлення порушень і забезпечення виконання Конвенції:

1. Сторони Конвенції співпрацюють у виявленні порушень і забезпеченні виконання положень цієї Конвенції, використовуючи усі відповідні і практично доступні засоби виявлення і постійного спостереження за навколишнім середовищем, а також відповідні способи передачі повідомлень і збору доказів.

2. Судно, до якого застосовується ця Конвенція, у будь-якому порту або віддаленому від берега терміналі сторони-підписанта може бути піддано інспектуванню посадовими особами, призначеними або уповноваженими такою стороною-підписантом, щоб перевірити, чи не зробило таке судно скидання шкідливих речовин на порушення положень правил. Якщо в результаті інспектування буде виявлене порушення положення Конвенції, то адміністрації надсилається про це повідомлення для вжиття відповідних заходів.

3. Кожна сторона-підписант надає адміністрації докази, якщо такі є, того, що судно на порушення положень правил зробило скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Якщо це практично можливо, компетентна влада цієї сторони-підписанта повідомляє капітана судна про передбачуване порушення.

4. Після отримання таких доказів адміністрація проводить розслідування справи і може просити іншу сторону-підписант надати додаткові або більш переконливі докази передбачуваного порушення. Якщо адміністрація переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування відповідно до свого законодавства якомога швидше. Адміністрація без зволікання інформує про

вжиті нею заходи сторону-підписанта, що повідомила про передбачуване порушення, а також організацію.

Сторона може піддати інспектуванню судно, до якого застосовується Конвенція, коли воно заходить у порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, якщо від іншої сторони-підписанта отримано прохання про таке інспектування разом з достатніми доказами того, що це судно зробило в якому-небудь місці скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Доповідь про таке інспектування надсилається стороні-підписанту, що просила про інспектування, і адміністрації для того, щоб можна було вжити відповідні заходи відповідно до положень цієї Конвенції.

Питанням необґрунтовані затримки суден присвячена стаття 7 Конвенції:

- при застосуванні статей 4, 5 і 6 цієї Конвенції вживаються всі можливі заходи для того, щоб уникнути необґрунтованої затримки судна або необґрунтованої відстрочки його відходу.

- будь-яке судно, що було необґрунтовано затримане або відхід якого був необґрунтовано відстрочений на підставі статей 4, 5, 16 цієї Конвенції, має право на відшкодування будь-яких понесених у зв'язку з цим збитків або шкоди.

Повідомлення про інциденти, пов'язані з скиданням шкідливих речовин:

- повідомлення про інцидент передається без затримки й якомога більш повному обсязі відповідно до положень протоколу I цієї Конвенції.

- кожна сторона-підписант Конвенції:

- а) вживає всіх необхідних заходів, щоб відповідна посадова особа або організація одержували й аналізували всі повідомлення про інциденти;

- б) повідомляє організації повні дані про вжиття таких заходів для надсилання іншим сторонам і державам – членам організації.

Коли сторона-підписант одержує повідомлення то, така сторона без затримки передає його адміністрації судна, з яким відбувся інцидент і будь-якій іншій державі, яку може це торкатися.

Кожна сторона Конвенції зобов'язується дати інструкції своїм суднам і літакам морської інспекції та іншим відповідним службам повідомляти своїм владам про будь-який інцидент, згаданий в протоколі I цієї Конвенції. Така сторона, якщо вона вважатиме за потрібне, повідомляє про це також організацію і будь-яку іншу зацікавлену сторону.

Будь-який спір між двома або декількома сторонами Конвенції щодо тлумачення або застосування цієї Конвенції, якщо врегулювання його шляхом переговорів між такими сторонами виявилось неможливим і, якщо тільки ці сторони не домовляться про інше, передається на прохання кожної з них на розгляд арбітражу, як це передбачено в протоколі II цієї Конвенції.

Сторони Конвенції зобов'язуються надсилати організації:

- а) тексти законів, наказів, декретів, правил та інших актів, виданих ними з різних питань щодо застосування цієї Конвенції;
- б) список неурядових організацій, уповноважених від їхнього імені займатися питаннями проектування, конструкції й устаткування суден, що перевозять шкідливі речовини відповідно до положень правил;
- в) достатня кількість зразків свідоцтв, виданих ними відповідно до положень правил;
- г) перелік прийомних пристроїв із вказівкою їх місцезнаходження, пропускної здатності, наявних пристосувань та інших характеристик;
- д) офіційні доповіді або огляди офіційних доповідей, що відображають результати застосування цієї Конвенції;
- е) щорічна статистична доповідь про фактично накладені за порушення цієї Конвенції санкції, складена за розробленою організацією єдиною формою.

Організація повідомляє сторони про одержання нею будь-якої

інформації відповідно до цієї статті і направляє всім сторонам будь-яку інформацію.

Під час аварії із суднами:

– Кожна адміністрація зобов'язується проводити розслідування будь-якої аварії, що трапилася з будь-яким з її суден, які підпадають під положення правил, якщо такою аварією морському середовищу заподіяна значна шкода.

– Кожна сторона Конвенції зобов'язується передавати організації інформацію про результати такого розслідування, якщо вона вважає, що така інформація може сприяти визначенню того, які зміни було б бажано внести в цю Конвенцію.

Підписання, ратифікація, прийняття, схвалення і приєднання відбувається згідно наступних пунктів:

– ця Конвенція відкрита для підписання в штаб-квартирі організації з 15 січня 1974 р. по 31 грудня 1974 р. і потім буде відкрита для приєднання до неї. Держави можуть стати сторонами цієї Конвенції шляхом вибору одного з наступних варіантів:

а) підписання без застереження про ратифікацію, прийняття або схвалення;

б) підписання з застереженням про ратифікацію, прийняття або схвалення з наступною ратифікацією, прийняттям або схваленням;

в) приєднання.

Ратифікація, прийняття, схвалення або приєднання здійснюються шляхом здачі на зберігання відповідного документа генеральному секретарю організації.

Генеральний секретар організації інформує всі держави, що підписали цю Конвенцію або приєдналися до неї, про будь-яке підписання або про здачу на зберігання будь-якого нового документа про ратифікацію, прийняття, схвалення або приєднання і про дату його здачі на зберігання.

Ця Конвенція набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати, на яку її сторонами згідно зі статтею 13 стануть не менше 15 держав, загальна валова місткість торговельних суден яких становить не менше п'ятдесяти відсотків валової місткості суден світового торговельного флоту.

Сторони Конвенції після консультації з організацією та іншими міжнародними організаціями, а також за сприяння і координації з боку виконавчого директора програми захисту навколишнього середовища Організації Об'єднаних Націй надають підтримку тим з сторін, що звертаються з проханням про надання технічної допомоги в частині:

- навчання наукового і технічного персоналу;
- поставки устаткування і пристроїв, необхідних для прийому шкідливих речовин, а також засобів виявлення забруднення;
- розробки інших заходів, спрямованих на запобігання або зменшення забруднення морського середовища із суден; і
- заохочення досліджень;
- здійснюючи таку допомогу переважно на території зацікавлених країн для подальшого сприяння виконанню цілей і завдань цієї Конвенції.

Ця Конвенція або будь-який факультативний додаток можуть бути денонсовані будь-якою стороною Конвенції в будь-який час після закінчення п'яти років з дати набуття чинності для цієї сторони Конвенції або такого додатка.

Денонсація здійснюється шляхом надсилання відповідного письмового повідомлення генеральному секретарю організації, що інформує всі інші сторони про зміст і дату одержання такого повідомлення, а також про дату набуття чинності такої денонсації.

Денонсація набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати одержання генеральним секретарем організації повідомлення про денонсацію або після закінчення більшого терміну, що може бути зазначений у цьому повідомленні.

Ця Конвенція здається на зберігання генеральному секретарю організації, що надсилає її завірені копії всім державам, що підписали її або приєдналися до неї.

Як тільки ця Конвенція набуде чинності, генеральний секретар організації передає її текст генеральному секретарю Організації Об'єднаних Націй для реєстрації й опублікування згідно зі статтею 102 Статуту Організації Об'єднаних Націй.

Розглядувана Конвенція була складена в одному примірнику англійською, іспанською, російською і французькою мовами, причому всі тексти є автентичними. Офіційні переклади на арабську, італійську, німецьку і японську мови будуть підготовлені і здані на зберігання разом з підписаним оригіналом.

4.2 Обмеження забруднень при експлуатації суден

Правило 9 міжнародної конвенції MARPOL-73/78 регламентує обмеження скидання нафти [18]. З урахуванням положень, передбачених правилами 10 і 11 додатка конвенції і пунктом 2 правила 9, забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з суден, на які поширюється додаток конвенції, за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі наступні умови.

З нафтового танкера забороняється скидання, за винятком випадків:

- танкер знаходиться поза межами особливого району;
- танкер знаходиться на відстані більше 50 морських миль від найближчого берега;
- танкер знаходиться в дорозі;
- миттєва інтенсивність скидання нафти не перевищує 30 літрів на морську милю;

– загальна кількість скинутої з існуючих танкерів в море нафти не перевищує 1/15000 загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок, а з нових танкерів – 1/30000 загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок;

На танкері повинна бути працездатна система автоматичного виміру, реєстрації і керування скиданням нафти у відстійний танк, необхідний за правилом 15 додатка конвенції.

З судна валовою місткістю 400 рег. т і більш, яка не є нафтовим танкером, а також з льял машинних приміщень нафтового танкера, за винятком льял відділення вантажних насосів, якщо тільки стоки машинних льял не змішані з залишками нафтового вантажу:

- судно знаходиться поза межами особливого району;
- судно знаходиться в дорозі;
- вміст нафти в стоці без його розведення не перевищує 15 частин на мільйон;
- на судні знаходиться в дії устаткування, необхідне правилом 16 додатка конвенції.

Стосовно судна валовою місткістю менше 400 рег. т., яка не є нафтовим танкером і плаває за межами особливого району, адміністрація забезпечує, щоб воно було обладнано, наскільки це доцільно і практично можливо, пристроями для зберігання нафтових залишків на борту і їх скидання на приймальні споруди або в море.

У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кільватерного струменя на поверхні води або під нею виявлені видимі сліди нафти, уряду сторін конвенції в межах своїх можливостей невідкладно розслідують факти, що відносяться до даного випадку, для встановлення, чи мало місце порушення положень цього правила або правила 10 додатка конвенції. Розслідування, зокрема, має включати відомості про вітер і стан моря, про шляхи і швидкості судна, про інші можливі джерела появи поблизу

судна видимих слідів нафти, а також про будь-які записи, які стосуються скидання нафти.

Положення пункту 1 правила 9 конвенції не застосовуються до скидання чистого і ізолюваного баласту, а також до скидання необроблених нафтовмісних сумішей, нафтовміст яких без розведення не перевищує 15 мільйонних часток, і які не скидаються з льял відділення вантажних насосів і не змішані з залишками нафтового вантажу.

Скидний в море стік не повинен містити хімічних або інших речовин, кількість або концентрація яких є небезпечними для морського середовища, а також хімічних або інших речовин, введених в стік з метою обійти умови скидання, встановлені в правилі 9 конвенції.

Нафтові залишки, які не можуть бути скинуті в море відповідно до пунктів 1, 2 і 4 правила 9 конвенції, зберігаються на борту і скидаються на приймальні споруди.

У разі судна, згаданого в пункті 6 правила 16 додатка конвенції, яке не оснащено устаткуванням, необхідним за пунктами 1 або 2 правила 16 додатка конвенції, положення підпункту (b) пункту 1 правила 9 не застосовуються до 6 липня 1998 року або до дати, на яку судно оснащено таким устаткуванням, в залежності від того, яка з них є більш ранньою. До цієї дати будь-яке скидання з льял машинних приміщень в море нафти або нафтовмісних сумішей з такого судна забороняється, за винятком випадків, коли дотримані всі наступні умови:

- містить нафту суміш не відбувається з льял відділення вантажних насосів;
- містить нафту суміш не змішана з залишками нафтового вантажу;
- судно знаходиться за межами особливого району;
- судно знаходиться на відстані більше 12 морських миль від берега;
- судно знаходиться в дорозі;
- зміст нафти в стоці становить менше 100 частин на мільйон;

– на судні знаходиться в дії устаткування для сепарації нафтоводяної сумішей, конструкція якого схвалена адміністрацією з урахуванням технічних вимог, рекомендованих організацією.

4.3 Збереження нафти на борту судна

Правило 15 міжнародної конвенції MARPOL-73/78 регламентує збереження нафти на борту [18]. З урахуванням положень пунктів 5 і 6 цього правила на нафтових танкерах валовою місткістю 150 рег. т і більше передбачаються пристрої відповідно до вимог пунктів 2 і 3 цього правила, за умови, що в разі існуючих танкерів вимоги щодо систем автоматичного виміру, реєстрації та керування скиданням нафти, а також пристрої відстійних танків застосовуються через три роки з дня набрання чинності цією конвенцією.

Особливості щодо систем автоматичного виміру, реєстрації та керування скиданням нафти, а також пристроїв відстійних танків:

1. Для очищення вантажних танків, перекачування залишків брудного баласту і промивної води з вантажних танків в відстійний танк передбачаються відповідні кошти, схвалені адміністрацією. На існуючих танкерах будь вантажний танк може використовуватися в якості відстійного.

2. У такій системі передбачаються пристрої для перекачування нафтових залишків в відстійний танк або систему відстійних танків таким чином, щоб будь-який стік, що скидається в море, задовольняв положенням правила 9 додатка конвенції.

3. Відстійний танк або система відстійних танків повинні мати місткість, необхідну для збереження в них змивів, що утворилися при митті танків, нафтових залишків і залишків брудного баласту. Загальна місткість відстійного танка або танків повинна бути не менше 3 % від

вантажомісткості судна по нафті, за винятком того, що адміністрація може допустити:

- 2 % для тих нафтових танкерів, на яких застосовується така система мийки танків, що прийнятої одного разу в відстійний танк або танки мийної води досить і для мийки танків і, якщо це застосовується, для забезпечення робочою рідиною ежекторів без додаткового введення в систему води;

- 2 % для тих танкерів, на яких передбачені танки ізольованого баласту або танки, виділені для чистого баласту або обладнана система мийки вантажних танків сировою нафтою. Ця місткість може бути далі зменшена до 1,5 % для таких танкерів, на яких мийка танків водою виконується таким чином, що прийнятої одного разу в відстійний танк або танки води для мийки досить і для мийки танків і, якщо це застосовується, для забезпечення робочою рідиною ежекторів без додаткового введення в систему води;

- 1 % для комбінованих вантажних суден, якщо нафтовий вантаж перевозиться тільки в танках з гладкими стінками. Ця місткість може бути далі зменшена до 0,8 %, якщо мийка танків водою виконується таким чином, що прийнятої одного разу в відстійний танк або танки води для мийки досить і для мийки танків і, якщо це використовується, для забезпечення робочою рідиною ежекторів без додаткового введення в систему води. Нові нафтові танкери дедвейтом 70000 т і більше обладнуються щонайменше, двома відстійними танками.

4. Відстійні танки проєктуються таким чином, щоб особливо щодо розташування вхідних і вихідних отворів, відбійних перегородок і водозливів, якщо вони є, не відбувалося зайвої турбулентності і захоплення водою нафти або емульсії.

Встановлюється схвалена адміністрацією система автоматичного виміру, реєстрації і керування скиданням нафти. При розгляді конструкції приладу для вимірювання вмісту нафти, що входить в систему, адміністрацією беруться до уваги технічні вимоги, рекомендовані

організацією. Система оснащується пристроєм самописання для безперервної реєстрації скидання в літрах на морську миль і загальної скинутої кількості або вмісту нафти і інтенсивності скидання. Такий запис повинен дозволити встановити дату і час скидання і зберігатися не менше трьох років. Система автоматичного заміру, реєстрації і керування скиданням нафти вмикається в дію при будь-якому скиданні стоку в море і виконується таким чином, що забезпечує автоматичне припинення скидання нафтовмісної суміші, коли миттєва інтенсивність скидання нафти перевищує значення, що допускається. Будь-яка несправність системи автоматичного виміру, реєстрації і керування повинна призводити до припинення скидання, а запис про неї відображається в Журналі нафтових операцій. Передбачається альтернативне ручне керування системою, яке може бути використане в разі такої несправності, а несправний вузол приводиться в робочий стан як можна швидше. Органи влади держави порту можуть дозволити танкеру з несправним вузлом здійснити один баластовий рейс до приходу в порт ремонту. Система автоматичного заміру, реєстрації і керування скиданням нафти проєктується і встановлюється відповідно до "Керівництва і технічних вимогам по системам автоматичного виміру, реєстрації і керування скиданням нафти для нафтових танкерів", розробленими організацією. Адміністрація може допустити такі спеціальні пристрої і заходи, як це обумовлено в документації і технічних вимогах.

Інструкції по експлуатації цієї системи повинні відповідати навчанням по експлуатації, схваленим адміністрацією. Вони повинні охоплювати як ручне, так і автоматичне керування і передбачати запобігання будь-якого скидання нафти.

Вимоги пунктів 1, 2, і 3 правила 15 конвенції не застосовуються до нафтових танкерів валовою місткістю менше 150 рег. т., на яких обмеження скидання нафти відповідно до правила 9 додатка конвенції здійснюється шляхом збереження нафти на борту з подальшою здачею всіх забруднених

промивних вод в приймальні споруди. Загальна кількість нафти і води, використаної для мийки та поверненої в збірний танк, записується в журналі нафтових операцій. Вся ця кількість здається на приймальні споруди, якщо не вжито належних заходів, що гарантують, що будь-який стік, який допускає скидання в море, ефективно контролюється для забезпечення виконання положень правила 9 додатка конвенції.

Адміністрація може не застосовувати вимог пунктів 1, 2, і 3 правила 15 до будь-якого нафтового танкера, зайнятому виключно в рейсах тривалістю не більше 72 год в межах 50 миль від найближчого берега, за умови, що такий нафтовий танкер зайнятий виключно в рейсах між портами або терміналами однієї держави-учасниці конвенції. Будь-яке таке звільнення можливе лише за умови, що нафтовий танкер зберігає на борту всі нафтовмісні суміші для подальшої здачі їх в приймальні споруди, і адміністрація переконана в тому, що наявних споруд для прийому таких нафтовмісних сумішей достатні.

Адміністрація може не застосовувати вимог пункту 3 правила 15 конвенції до нафтових танкерів, іншим, ніж ті, коли:

- танкер є існуючим нафтовим танкером дедвейтом 40000 т і більше, зайнятим в спеціальних рейсах, вказаних в пункті 1 правила 13С додатка конвенції, і виконуються умови, встановлені в пункті 2 правила 13С;

- танкер зайнятий виключно в одній або більше наступних категорій рейсів: в особливих районах або в межах 50 морських миль від найближчого берега поза особливих районів, де зайнятий танкер:

- перевезеннях між портами або терміналами однієї держави-учасниці конвенції;

- обмежених рейсах по визначенню адміністрації тривалістю не більше 72 год;

Виключенням, також, є одночасне дотримання всіх наступних умов:

- всі нафтовмісні суміші зберігаються на борту для подальшого скидання на приймальні споруди;

- для рейсів, для яких адміністрація визначила, що є достатні приймальні споруди для прийому таких нафтовмісних сумішей в тих портах або терміналах навантаження, куди танкер заходить;

Міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення нафтою, якщо воно потрібне, містить запис про те, що судно зайняте виключно в одному або декількох рейсах. При скиданні фіксується кількість, час скидання, а порт скидання записуються в журналі нафтових операцій.

Якщо, на думку організації, обладнання для автоматичного виміру і реєстрації скидання легких очищених продуктів (світлих нафт), відсутнє, то в цьому випадку адміністрація може утриматися від застосування цієї вимоги за умови, що скидання дозволяється виключно відповідно до передбачених організацією методів, крім обов'язкової наявності діючої системи автоматичного виміру, реєстрації і керування скиданням нафти. Організація переглядає питання про наявність такого обладнання не рідше одного разу на 12 місяців.

Вимоги пунктів 1, 2, і 3 правила 15 конвенції не застосовуються до нафтових танкерів, що перевозять бітум і інші продукти, що передбачені додатком конвенції, які внаслідок своїх фізичних властивостей перешкоджають ефективному розподілу продукту і води і вимірюванню вмісту продукту, і для яких керування скиданням здійснюється відповідно до правила 9 додатка конвенції шляхом збереження залишків на борту і здачі всіх забруднених промивних вод на приймальні споруди.

4.4 Система автоматичного заміру, реєстрації і керування скиданням нафти і обладнання для фільтрації нафти

Будь-яке судно валовою місткістю 400 рег. т і більше, але менше 10000 рег. т оснащується обладнанням для фільтрації нафти, що відповідає вимогам пункту 4 правила 16 конвенції. Будь-яке таке судно, що має на борту велику кількість нафтового палива, має задовольняти пункту 2 правила 16 або пункту 1 правила 14 конвенції.

Будь-яке судно валовою місткістю 10000 рег. т і більш оснащується обладнанням для фільтрації нафти і пристроями сигналізації та автоматичного припинення будь-якого скидання містить нафту суміші, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 частин на мільйон.

Адміністрація може не застосовувати вимоги пунктів 1 і 2 правила 16 конвенції до будь-якого судна, що виконує виключно рейси в межах особливих районів, при дотриманні всіх наступних умов:

- судно обладнане збірним танком достатньої, що задовольняє адміністрацію, місткості для повного збереження на борту нафтовмісних льяльних вод;
- всі нафтовмісні льяльні води зберігаються на борту для подальшого їх скидання в приймальні споруди;
- адміністрація переконалася, що наявні в достатній кількості порти або термінали, куди заходить судно, є що відповідають вимогам приймальні споруди для прийому таких льяльних вод;
- міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення нафтою, якщо воно потрібне, містить запис про те, що судно виконує винятково рейси, в межах особливих районів;
- скинута кількість, час і порт скидання реєструються в журналі нафтових операцій.

Адміністрація забезпечує, щоб судна валовою місткістю менше 400 рег. т були оснащені, наскільки це практично можливо, обладнанням для збереження на борту нафти або нафтовмісних сумішей або їх скидання відповідно до вимог підпункту 1(b) правила 9 додатка конвенції.

Устаткування для фільтрації нафти, згадане в пункті 1 правила 16 конвенції, має схвалену адміністрацією конструкцію і є таким, щоб після проходження через систему будь-якої нафтовмісної суміші, що скидається в море, вміст нафти в ній не перевищував 15 частин на мільйон. При розгляді конструкції такого устаткування адміністрацією беруться до уваги технічні вимоги, рекомендовані організацією.

Устаткування для фільтрації нафти, згадане в пункті 2 правила 16 конвенції, має схвалену адміністрацією конструкцію і є таким, щоб після проходження через систему або системи будь-якої нафтовмісної суміші, що скидається в море, вміст нафти в ній не перевищував 15 частин на мільйон.

Воно оснащується сигнальними пристроями, які включаються, коли цей рівень не може підтримуватися. Система також обладнується пристроями, що забезпечують автоматичне припинення будь-якого скидання забруднених нафтою сумішей, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 частин на мільйон. При розгляді конструкції такого устаткування і пристроїв адміністрація бере до уваги технічні вимоги, рекомендовані організацією.

До суден, побудованих до 6 липня 1993 року, вимоги цього правила застосовуються з 6 липня 1998 року за умови, що ці судна можуть експлуатуватися з устаткуванням для нафтоводяної сепарації (устаткування на 100 частин на мільйон).

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено систему керування електропривода суднового компресора КВД-М пускового повітря. Враховуючи рекомендації до систем керування електроприводів турбомеханізмів, до яких відноситься судновий компресор КВД-М пускового повітря обрано скалярну систему частотного керування, проаналізовано її функціональну та структурну схеми.

Базовий приводний асинхронний двигун 4М51-4 потужністю 4,5 кВт і частотою обертання 1420 об/хв замінено на новий асинхронний двигун 5А112М4 потужністю 5,5 кВт з частотою обертів 1430 об/хв. Крім того, в електроприводі суднового компресора пускового повітря КВД-М використано перетворювач частоти АЕ-V81G-7R5T4В потужністю 7,5 кВт, гальмівний резистор моделі 800W75R з розсіювальною потужністю 800 Вт та опором 100 Ом, автоматичний вимикач МССВ з допустимим струмом 40 А, контактор з допустимим струмом 25 А, мережевий дросель модель SG-IC-20А зі струмом 20 А та індуктивністю 0,7 Гн.

В роботі розраховано налаштувань регуляторів розробленої системи, побудовано графіки перехідних процесів за швидкістю. Отримано наступні показники якості керування: перерегулювання – 0 %, час перехідного процесу 1,4 с.

Проаналізовано питання по запобіганню забруднення з суден за конвенцією MARPOL-73/78.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фесенко В.И. Электрические приводы промышленных судов / В.И. Фесенко. – М: Пищевая промышленность, 1974. – 245 с.
2. Тё А.М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства / А.М. Тё. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 208 с.
3. Овчинников И.Н. Судовые системы и трубопроводы / И.Н. Овчинников, Е.И. Овчинников. – Л.: Судостроение, 1988. – 312 с.
4. Системы судовых энергетических установок / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, А.Я. Шквар, В.П. Шостак. – Л.: Судостроение, 1990. – 376 с.
5. Трифонов Л.К. Судовой моторист / Л.К. Трифонов, В.И. Макаренко. – М.: Транспорт, 1975. – 296 с.
6. Грабченко А.І. Методи наукових досліджень / А.І. Грабченко, В.О. Федорович, Я.М. Гаращенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 142 с.
7. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: «Академия», 2007. – 576 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.
9. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
10. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.
11. Драчев Г.И. Теория электропривода. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
12. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
13. Москаленко В.В. Электрический привод. – Москва: Академия, 2007. – 368 с.

14. Солодовников В.В. Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. – М.: Наука, 1990. – 168 с.
15. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
16. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.
17. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління. – Дніпропетровськ: Національна гірничча академія України, 2002. – 414 с.
18. Международная конвенция МАРПОЛ. Книга III. СПб.: ЦНИИМФ, 2009. – 303 с.